

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL
DEL PAVIMENTO DE SUELO GRANULAR DE LA AV.
HUANCANE DE LA CIUDAD DE JULIACA

PRESENTADO POR

Bach. WILBER MELQUIADES MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA -- PERÚ

2017

ACTA DE TITULACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 10:00 horas del día 19 de agosto del 2017, en el Salón de Grados de la Universidad Alas Peruanas y bajo la Presidencia del **Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**, se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de **Sustentación de Tesis**.

En la que el Bachiller: **MAMANI MAMANI, WILBER MELQUIADES**

Sustentó la Tesis de Ingeniería:

Tesis

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL
PAVIMENTO DE SUELO GRANULAR DE LA AV. HUANCANÉ DE LA
CIUDAD DE JULIACA”**

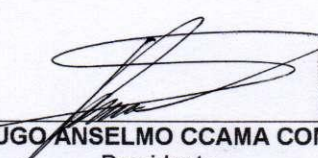
Ante el jurado integrado por los señores catedráticos:

Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI	(Presidente)
Ing. ALFREDO PONCE FLORES	(Miembro)
Ing. GILMER SALAS MADERA	(Secretario)

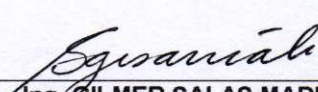
Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el señor Presidente y los demás miembros del Jurado.


Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI

Presidente
CIP: 189445


Ing. GILMER SALAS MADERA

Secretario
CIP: 86417


Ing. ALFREDO PONCE FLORES

Miembro
CIP: 73698

Formulario de Autorización de Registro y Publicación de Producción Académica en el Repositorio Institucional de la UAP

A LOS AUTORES Y CREADORES DE NUESTRA UNIVERSIDAD:

En la actualidad los Repositorios Institucionales representan una estrategia de información y comunicación de las instituciones académicas, el formar parte de un Repositorio Institucional, contribuye a fomentar el nivel de competitividad, visibilidad, imagen pública y relevancia de un investigador y la posibilidad de ser consultado y difundido mundialmente, a través de su obra, mediante un archivo de formato electrónico.

Al depositar su obra en el Repositorio Institucional UAP, el autor concede a la Universidad Alas Peruanas S.A., una Licencia no exclusiva sobre su creación y el logro del propósito enunciado.

Datos del Autor

Nombre y Apellidos:				WILBER MELBAÑDES MDMANI MDMANI			
DNI:		41795417		Teléfono:		957645149	
E-Mail:				Wilber_fie@hotmail.com			

Datos de la Investigación

<input type="checkbox"/>	Trabajo académico						
<input type="checkbox"/>	Trabajo de Investigación						
<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis						
<input type="checkbox"/>	Artículo Académico						
<input type="checkbox"/>	Libros y/o Capítulos de Libro						
<input type="checkbox"/>	Otros, especificar en Anexo "A" adjunto. (Ver Cuadro)						
Título:		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DEL SUELO GRANULAR DE LA AVENIDA HUANCANE DE LA CIUDAD DE JULIACA					
Asesor:		ING. JUAN VARGAS RAMOS					
Año:		2017		Carrera Profesional:		INGENIERIA CIVIL	

Licencias

A. Licencia estándar:

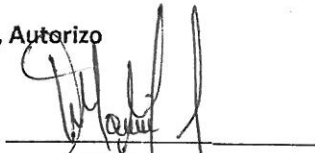
Bajo los siguientes términos, autorizo el registro y publicación en acceso abierto de mi Artículo / Trabajo de Investigación / Artículos Académicos/ Libros y/o capítulos de libro/ Tesis en el Repositorio institucional de la Universidad Alas Peruanas. Con esta autorización de depósito de mi Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis, entre otros, otorgo a la Universidad Alas Peruanas S.A., una licencia no exclusiva para reproducir (en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación), distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi Trabajo de Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de Tesis UAP, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

Declaro que el presente Artículo / Trabajo de Investigación / Artículos Académicos/ Libros y/o capítulos de libro /Tesis, es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Alas Peruanas consignará el nombre del/los autor/es de la tesis, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la presente licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X):

- SI, autorizo que se deposite inmediatamente de acceso abierto
- SI, autorizo que se deposite y publique de acceso abierto partir de la fecha:
- 01 Año
- 02 Años
- 03 Años
- NO, Autorizo


FIRMA

01/09/2017
FECHA

* Lo siguiente es OPCIONAL, pero es importante porque el licenciamiento Creative Commons fija las condiciones de uso de su tesis en la Web. Si desea obviar esta parte, vaya a la última hoja del formulario, coloque su firma y fecha para completar su autorización.

B. Licencia Creative Commons: Otorgamiento de una licencia Creative Commons

Si usted concede una licencia Creative Commons sobre su tesis, mantiene la titularidad de los derechos de autor de ésta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de ésta, siempre y cuando reconozcan la autoría correspondiente, bajo las condiciones siguientes:

MARQUE	TIPO LICENCIA	DESCRIPCIÓN
	 Reconocimiento CC BY	Esta licencia permite a otros distribuir, mezclar, ajustar y construir a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre que le sea reconocida la autoría de la creación original. Esta es la licencia más servicial de las ofrecidas. Recomendada para una máxima difusión y utilización de los materiales sujetos a la licencia.
	 Reconocimiento- CompartirIgual CC BY-SA	Esta licencia permite a otros re-mezclar, modificar y desarrollar sobre tu obra incluso para propósitos comerciales, siempre que te atribuyan el crédito y licencien sus nuevas obras bajo idénticos términos. Cualquier obra nueva basada en la tuya, lo será bajo la misma licencia, de modo que cualquier obra derivada permitirá también su uso comercial.
	 Reconocimiento- SinObraDerivada CC BY-ND	Esta licencia permite la redistribución, comercial y no comercial, siempre y cuando la obra no se modifique y se transmita en su totalidad, reconociendo su autoría.
	 Reconocimiento- NoComercial CC BY-NC	Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, y aunque en sus nuevas creaciones deban reconocerle su autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.
	 Reconocimiento- NoComercial- CompartirIgual CC BY-NC-SA	Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, siempre y cuando le reconozcan la autoría y sus nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.
	 Reconocimiento- NoComercial- SinObraDerivada CC BY-NC-ND	Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales, sólo permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente.

Firma

01/09/2017
Fecha

Datos del Autor

Nombre y Apellidos:	WILBER MELQUIADES MAMANI MAMANI		
DNI:	42795417	Teléfono:	957645149
E-Mail:	Wilber_fie@hotmail.com		

Datos de la Investigación

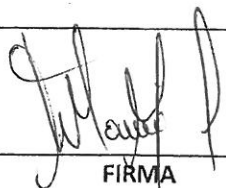
<input type="checkbox"/>	Trabajo Académico		
<input type="checkbox"/>	Trabajo de Investigación		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis		
<input type="checkbox"/>	Artículo Académico		
<input type="checkbox"/>	Libros y/o Capítulos de Libro		
<input type="checkbox"/>	Otros, especificar en Anexo "A" adjunto. (Ver Cuadro)		
Título:	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE SUELO GRANULAR DE LA AV. HUANCANE DE LA CIUDAD DE JULIACA		
Asesor:	ING JUAN VARGAS RAMOS		
Año:	2017	Carrera Profesional:	INGENIERIA CIVIL

Declaratoria

Declaro que he leído este Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis en su totalidad referenciado en este documento, he hecho la revisión y corrección de estilo del presente trabajo de tesis considerando lo señalado en la Guía y Manual de Tesis de la Universidad Alas Peruanas y del Manual de Estilo de la APA, versión en inglés.

Asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y soy consciente que este compromiso de fidelidad tiene connotaciones académicas y éticas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Alas Peruanas.



 FIRMA

01/09/2017

 FECHA

CUADRO: TIPOS DE DOCUMENTOS PARA INCLUIR (ANEXO A)

DRIVER 2.0 Actualizado 29 de Agosto 2016

info:eu-repo/semantics/article	Artículo científico	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/doctoralThesis	Tesis doctorado	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/mastherThesis	Tesis de Maestría	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/bachelorThesis	Tesis de Bachiller	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/report	Reporte	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/book	Libro	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/monograph	Monografía	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/bookPart	Capítulo o parte de un libro	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/review	Revisión	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/conferenceObject	Conferencia	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/lecture	Presentación	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/patent	Patente	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/workingPaper	Working paper	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/tchnicalDocumentation	Documentos Técnicos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/dataset	Datos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/software	Sistemas Informáticos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/Video	Videos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/contributionToPeriodical	Contribución no académica	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/other	Otros	<input checked="" type="checkbox"/>

DEDICATORIA

Dedico esta tesis A. DIOS, quien inspiro mi espíritu para la conclusión de esta tesis. A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mi esposa quien me dio apoyo incondicional, a mi hijo que fue mi motivación para elaborar mi tesis. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi corazón. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos mis maestros ya que ellos me enseñaron valorar los estudios y a superarme cada día, también agradezco a mi esposa porque ella estuvo en los días más difíciles de mi vida como estudiante. Y agradezco a Dios por darme la salud que tengo. Estoy seguro que mis metas planteadas darán fruto en el futuro y por ende me debo esforzar cada día para ser mejor sin olvidar el respeto que engrandece a la persona

RESUMEN

Para lograr un buen servicio en capas de suelo en una vía, es preciso conocer las propiedades del material y su comportamiento al variar sus elementos y sus respectivos proporcionamientos. Es por ello que el estudio de las propiedades se hace cada vez más importante, el presente estudio tiene como objetivo determinar las características de las propiedades físico mecánicas del terreno de fundación, base y sub base del pavimento existente de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca, en la provincia de San Román, Región Puno. Metodológicamente el estudio es de tipo explicativo, asume el enfoque cuantitativo, se recolectaron los datos a través de ensayo de laboratorio con instrumentos estandarizados y por el propósito de estudio es de tipo básico o fundamental, así mismo por la naturaleza de estudio es no experimental, De los resultados obtenidos a través de los ensayos de suelos en laboratorio, dentro de ellos, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelos, PROCTOR modificado; y ensayos CBR, nos proporciona valores inferiores de los requerimientos técnicos de la norma Peruana, además nos encontramos frente a suelos mal gradados. así mismo la base y sub base de la estructura del pavimento presenta un suelo bueno, que comprende materiales formados predominantemente por piedra o grava, y con ligante mal graduado, según ensayos de compactación los resultados del CBR en las tres muestras que tiene los siguientes valores, 64.30, 59.0 y 67.30%. Es necesario destacar que el valor considerado está por debajo del mínimo establecido por el MTC en las DG-2013 (80%) para vías de tránsito.

Palabras clave: Comportamiento estructural, pavimento, Suelo granular.

ABSTRACT

To achieve good service in layers of soil in a road, it is necessary to know the properties of the material and its behavior by varying its elements and their respective proportions. Therefore, the study of properties is becoming increasingly important, the present study aims to determine the characteristics of the physical properties of the ground foundation, base and sub base of the existing pavement of Av. Huancané of the city Of Juliaca, in the province of San Román, Puno region. Methodologically the study is an explanatory type, it assumes the quantitative approach, the data were collected through a laboratory test with standardized instruments and for the purpose of the study it is of a basic or fundamental type, and also because the nature of the study is non-experimental, From the results obtained through soil tests in the laboratory, within them, granulometric analysis, consistency limits, soil classification, modified PROCTOR; And CBR tests, gives us lower values of the technical requirements of the Peruvian standard, besides we are in front of poorly graded soils. Also the base and sub-base of the structure of the pavement presents a good soil, comprising materials formed predominantly by stone or gravel, and with badly graded binder, according to compaction tests the results of the CBR in the three samples that has the following values, 64.30, 59.0 and 67.30%. It is necessary to emphasize that the value considered is below the minimum established by the MTC in the DG-2013 (80%) for traffic routes.

Keywords: Structural behavior, pavement, Granular soil

INDICE

1	INTRODUCCION	12
	CAPITULO I:	13
	PLANTEAMIENTO METODOLOGICO	13
1.1	DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:	13
1.2	DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN:	14
1.2.1.	Delimitación espacial:.....	14
1.2.2.	Delimitación temporal:	14
1.2.3.	Delimitación social/conductual:.....	14
1.2.4.	Delimitación Conceptual:.....	14
1.3	PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION:.....	15
1.3.1.	Problema General:	15
1.3.2.	Problemas Específicos:	15
1.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION:.....	15
1.4.1.	Objetivo general:	15
1.4.2.	Objetivos especificos:.....	15
1.5	FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION:.....	16
1.5.1.	Hipótesis general:.....	16
1.5.2.	Hipótesis Específico:	16
1.6	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN:.....	16
1.6.1.	Variable independiente:.....	16
1.6.2.	Variable dependiente:.....	16
1.7	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	17
1.7.1.	Tipo y nivel de Investigación:	17
1.7.2.	Diseños y métodos de Investigación:	18
1.7.3.	Población y muestra de la investigación:.....	20
1.7.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	20
1.8	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:	21
1.8.1.	Justificación:.....	21
1.8.2.	Importancia:.....	21
1.8.3.	Limitaciones:	21

CAPITULO II	22
MARCO TEORICO	22
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION:.....	22
2.1.1. Estudios específicos:	22
2.2. BASES TEORICAS:.....	23
2.2.1. MECANICA DE SUELOS:	23
2.2.1.1 Generalidades:.....	23
2.2.1.2. Clasificación de suelos desde el punto de vista de vías:	24
2.2.1.2.1. Descripción:	24
2.2.1.2.2. Sistemas de clasificación:	25
2.2.1.3. El sistema de clasificación de suelos AASHTO:	25
2.2.1.4. El sistema de clasificación de suelos S.U.C.S.	30
2.2.1.5. Investigación y evaluación de suelos para el diseño de un pavimento:	35
2.2.2. EXPLORACION DE SUELOS:	42
2.2.2.1. Descripción:.....	42
2.2.2.2. Métodos de exploración:.....	44
2.2.2.3. Obtención de Muestras Inalteradas:	49
2.2.3. COMPACTACION DE SUELOS:.....	52
2.2.3.1. Generalidades:	52
2.2.3.2. Método PROCTOR:.....	53
2.2.3.3. Compactación:.....	57
2.2.3.3.1. Ensayo Proctor modificado:	57
2.2.3.4. Ensayo de Compactación:.....	60
2.2.3.5. Ensayo de la Relación de Soporte California (CBR):.....	66
2.2.4. CIMENTACIONES ESTRUCTURALES EN VIAS:.....	71
2.2.4.1. Descripción:.....	71
2.2.4.2. Zonas distinguibles en un terraplén:.....	72
2.2.4.3. Tipos de terraplenes:.....	73
2.2.4.4. Construcción de terraplenes:.....	75
2.2.4.5. Control de calidad del terraplén:.....	75
CAPITULO III	78
PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION	78
3.1. IDENTIFICACION DE SUELOS EN LA AVENIDA HUANCANE.	78

3.1.1. Ubicación:	78
3.1.2. Aspectos generales de la situación actual:	79
3.1.3. Características de la Situación Negativa:.....	79
3.1.4. Descripción del terreno:	80
3.1.5. Ensayos realizados en los suelos:	81
3.1.5.1. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NORMAS: (ASTM - D 2216), MTC E 108 – 2000:.....	81
3.1.5.1. ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO NORMAS: NTP 339.129 - ASTM D – 4318, AASHTO T – 89:	86
3.1.5.2. ENSAYO LIMITE PLASTICO NORMAS: NTP 339.129 ASTM D – 4318, AASHTO T -90:.....	91
3.1.5.3 ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO NORMAS: (NTP 339.128 – ASTM D 422), AASHTO T 88: ...	95
3.1.5.4. ENSAYO DE PROCTOR DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA DE COMPACTACIÓN NORMAS: (NTP 339.141 - ASTM - D 1557):.....	102
3.1.5.5. ENSAYO DE CBR CALIFORNIA BEARING RATIO NORMAS: ASTM D-1883 y AASHTO T- 193:	107
CAPITULO IV.....	109
PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	109
4.1. Toma de muestras representativas:	109
4.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA BASE Y SUB BASE DEL TERRAPLÉN:.....	111
4.3. Análisis de las propiedades mecánicas en el terreno de fundación: ..	117
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125
MATRIZ DE CONSISTENCIA	128
ENSAYOS DE LABORATORIO	130
PERFIL ESTRATIGRAFICO	134
PANEL FOTOGRAFICO	136

LISTA DE TABLAS

- Tabla II.1. Clasificación de suelos por el método AASHTO
- Tabla II.2. Para la determinación de Índice de Grupo
- Tabla II.3. Procedimiento de clasificación de los suelos
- Tabla II.4. Procedimiento de clasificación de los suelos
- Tabla II.5. Carta de clasificación (ASTM D-4220)
- Tabla II.6. Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos
- Tabla II.7. Especificaciones para el ensayo Proctor Estándar
- Tabla II.8. Especificaciones para el ensayo Proctor Modificado (basadas en la norma 1557-91 de la ASTM).
- Tabla III.1. Peso de muestra y cantidad para contenidos de humedad
- Tabla IV.1. Características de la toma de muestras en la vía
- Tabla IV.2. Análisis Granulométrico por tamizado
- Tabla IV.3. Contenido de humedad
- Tabla IV.4. Límites de Consistencia
- Tabla IV.5. Proctor modificado
- Tabla IV.6. Valor relativo de soporte CBR
- Tabla IV.7. Resumen de los valores en base y sub base
- Tabla IV.8. Análisis granulométrico por tamizado
- Tabla IV.9. Contenido de Humedad
- Tabla IV.10. Límites de consistencia
- Tabla IV.11. Proctor modificado
- Tabla IV.12. Valor relativo de soporte CBR
- Tabla IV.13. Resumen de los valores en terreno de fundación

LISTA DE FIGURAS

Figura. I.1.Operacionalizacion de variables

Figura II.1. Ensayo de compactación

Figura II.2. Penetración CBR

Figura III.1. Mapa de Ubicación Geográfica

Figura III.2. Situación del pavimento de la vía

Figura IV.1 Calicatas realizadas en campo – toma de muestras

Figura IV.2. Grafico Valor relativo de soporte CBR

Figura IV.3. Grafico Valor relativo de soporte CBR

1 INTRODUCCION

Para lograr un buen servicio en capas de suelo en una vía, es preciso conocer las propiedades del material y su comportamiento al variar sus elementos y sus respectivos proporcionamientos. Es por ello que el estudio de las propiedades se hace cada vez más importante, el presente estudio tiene como objetivo determinar las características de las propiedades físico mecánicas del terreno de fundación, base y sub base del pavimento existente de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca, en la Provincia de San Román, Región Puno.

El estado en el que se encuentra esta vía correspondiente la Av. Huancané, que comprende al tramo Ovalo Vilcapaza – Puente Independencia, genera malestar en la población de esta zona, puesto que la vía en mención presenta desniveles y hoyos que dificultan el tránsito normal de los vehículos; asimismo el deterioro de algunas veredas y la carencia de otras genera inseguridad en cuanto al tránsito, como consecuencia de este estado calamitoso de la vía es que se requiere conocer las propiedades mecánicas del terraplén existente a fin de plantear soluciones coherentes en la solución del problema de la vía porque esta es una vía de primer orden dentro de la trama urbana de la ciudad de Juliaca.

El presente estudio partirá con la toma de muestras de campo a través de la excavación calicatas a cielo abierto de acuerdo a los protocolos de la NTP y del ministerio de transportes y comunicaciones, posterior a ello se llevará las muestras a un laboratorio certificado a fin de determinar las características de las propiedades físicas mecánicas de los suelos

CAPITULO I:

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:

El estado en el que se encuentra la vía correspondiente la Av. Huancané, que comprende al tramo que inicia en el Ovalo Vilcapaza– Puente Independencia, genera malestar en la población de esta zona, puesto que la vía en mención presenta desniveles y hoyos que dificultan el tránsito normal de los vehículos; asimismo el deterioro de algunas veredas y la carencia de otras genera inseguridad en cuanto al tránsito situación que empeora en épocas de lluvia ya que se forman charcos de agua y lodazales que dificultan aún más el traslado tanto vehicular no motorizados, vehículos menores motorizados y vehículos de alto tonelaje y/o pesados; en épocas de estiaje también se tienen efectos negativos, ya que considerando que la vía es de tierra y ante los vientos típicos de la ciudad de Juliaca se generan polvos en suspensión que ingresan a las viviendas, lo cual tiende a deteriorar la fachada de las mismas y demás enseres fijos de la vivienda que requieren de mayor frecuencia en cuanto a limpieza y por ende incremento en costos de conservación.

En ese contexto es necesario evaluar la conformación del terraplén existente a fin de determinar los valores que presenta la estructura y el suelo de fundación, porque son los elementos de soporta, que determinan el funcionamiento y la transitabilidad de la vía.

Con el propósito de abordar este fenómeno, se plantea el siguiente cuestionamiento que direcciona está presente investigación:

¿Cómo será el comportamiento estructural del pavimento de suelo granular de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca?

1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN:

1.2.1. Delimitación espacial:

El presente trabajo investigación toma como delimitación espacial la Ciudad de Juliaca, específicamente la Av. Huancané que es un eje troncal de tránsito y se tomara como muestra el Tramo ovalo Vilcapaza– Puente Independencia que presenta características de deterioro y fallas en su estructura.

1.2.2. Delimitación temporal:

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo a partir de junio del 2017 hasta noviembre del 2017, tiempo que permitirá desarrollar y mostrar los resultados de la investigación.

1.2.3. Delimitación social/conductual:

La investigación se llevará a cabo en la Av. Huancané, la misma que beneficia a la ciudad de Juliaca, así mismo se tendrá como objeto de evaluación una vía en servicio que presenta deterioros

1.2.4. Delimitación Conceptual:

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como comportamiento estructural y pavimento de suelo granular, ambos conceptos direccionaran el presente trabajo de investigación.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION:

1.3.1. Problema General:

¿Cómo será el comportamiento estructural del pavimento de suelo granular de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca?

1.3.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuáles serán los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuáles serán los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la base de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION:

1.4.1. Objetivo general:

Analizar el comportamiento estructural del pavimento de suelo granular de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar mediante ensayos los valores del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

- Determinar mediante ensayos los valores del comportamiento estructural del suelo granular en la base de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

1.5 FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION:

1.5.1. Hipótesis general:

El comportamiento estructural del pavimento de suelo granular es inadecuado en la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

1.5.2. Hipótesis Específico:

- Los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base son inadecuados en la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.
- Los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la base son inadecuadas en la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN:

1.6.1. Variable independiente:

Variable independiente (X)



Pavimento de suelo granular

1.6.2. Variable dependiente:

Variable dependiente (Y)



Comportamiento estructural del suelo

1.6.3 Operacionalización de Variables:

Figura. I.1.
Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE (x) Pavimento de suelo granular	Plataforma existente	Sub base base
VARIABLE DEPENDIENTE (y) Comportamiento estructural	Propiedades mecánicas de la sub base	– Granulometría – Contenido de humedad – Límites de consistencia – Proctor modificado – Valor relativo de soporte (CBR)
	Propiedades mecánicas de la base	– Granulometría – Contenido de humedad – Límites de consistencia – Proctor modificado – Valor relativo de soporte (CBR)

Fuente: Elaboración propia

1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

1.7.1. Tipo y nivel de Investigación:

a) Tipo de investigación:

El presente estudio es de tipo explicativo, asume el enfoque cuantitativo, se recolectará los datos a través de ensayo de laboratorio

con instrumentos estandarizados y por el propósito de estudio es de tipo básico o fundamental está orientado a evaluar mediante ensayos para evidenciar los valores de las propiedades mecánicas del suelo, por la naturaleza de estudio es no experimental, debido que el estudio es la aplicación de normas estandarizados para determinar los valores de las propiedades mecánicas de suelos.

b) Nivel de investigación:

Asimismo, de acuerdo a las características y profundidad del estudio corresponde al nivel de investigación explicativo y se pretende aplicar los resultados a situaciones reales donde se presenten problemas similares, para validar se realizarán ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del suelo.

1.7.2. Diseños y métodos de Investigación:

a) Diseño de investigación:

La presente es una investigación que asume el diseño no experimental, transversal implica la evaluación de las propiedades mecánicas del suelo a través de ensayos de laboratorio y se presenta las siguientes fases.

FASE 1. Fase preparatoria. En esta fase se plantea el plan de trabajo, en el cual se definen los objetivos y la hipótesis, como también se analiza los parámetros de análisis de suelo de acuerdo a las normas estandarizadas

FASE 2. Recolección de la información. En esta etapa de la investigación se realizará una recopilación de información bibliográfica y de internet para adquirir los conocimientos relacionados, al objeto de investigación. Posteriormente se identificará la unidad de análisis,

donde se tomará las muestras de acuerdo a las normas técnicas del MTC, esta recolección de datos se realizará durante el periodo de 01 mes.

Para lograr la recolección de datos se utilizará los siguientes instrumentos:

- Muestras de suelo estandarizado de acuerdo a los protocolos del reglamento del MTC.
- Registro fotográfico apuntes perspectivas.
- Trabajo de campo (observación estructurada directa).
- inventario de información (bibliotecas y centros de documentación).
- Planos de obra vectorizados

FASE 3. Procesamiento y análisis de la información: En esta etapa se organizará e interpretará los certificados de los ensayos de laboratorio de las muestras. Con las variables obtenidas se procederá a la integración y búsqueda de los valores más representativos, con los cuales se logrará identificar los valores para determinar el diseño de la estructura del pavimento. Para la interpretación de datos se usará la estadística ANOVA a fin de determinar las comparaciones de los distintos valores obtenidos. Se empleará los siguientes medios de procesamiento y análisis.

- AutoCAD (software que se usara para vectorizar planos).
- Microsoft office Excel (software que se usara para el procesamiento de cuadros y tablas).
- Microsoft office Word. (software que se usara para la edición de textos).
- SPSS 11 (software que se usara para probar la hipótesis a través de tabulación de datos y distribución de frecuencias).

FASE 4. Fase propositiva. Se planteará y se recomendará las alternativas de solución para estructuras de vías, las cuales podrán ser de gran utilidad como nuevos insumos para el planteamiento de estructuras de pavimentos.

b) Método de investigación:

En la investigación se utilizó todos los pasos del método científico y como método general se utilizará el método deductivo por que se asume teorías (parámetros de análisis de propiedades mecánicas de suelo) para explicar la actual situación de la Av. Huancané de la ciudad de Juliaca.

1.7.3. Población y muestra de la investigación:

a) Población:

La población de estudio para la presente investigación es la Av., Huancané de la ciudad de Juliaca, que es una vía principal de alto volumen de tránsito que permite la circulación de vehículos pesados.

b) Muestra:

La muestra que presenta la presente investigación es no probabilística, porque el investigador asume como muestra el Tramo ovalo Vilcapaza – Puente Independencia.

1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Técnicas:

- toma de muestras de acuerdo a protocolos de NTP
- ensayos de laboratorio:
- Mediciones

Instrumentos:

- Laboratorio
- Instrumentos de medición

1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:**1.8.1. Justificación:**

La evaluación de la conformación del terraplén existente consiste, en la determinación de las propiedades mecánicas del suelo en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una vía aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una vía y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

1.8.2. Importancia:

La importancia de la presente investigación radica que la infraestructura vial es un agente determinante en el desarrollo social, económico y cultural de las ciudades, es por eso que es importante considerar a nuestros pavimentos como el principal activo económico que posee la ciudad, en la actualidad el estado de las vías primarias y secundarias de la ciudad de Juliaca se encuentran por debajo de los niveles de competitividad requeridos por el medio.

1.8.3. Limitaciones:

Para realizar este tipo de estudios se requiere la coordinación con las instituciones que tienen como cargo el mantenimiento y conservación de las vías las cuales muestran poco interés por realizar este tipo de estudios.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION:

2.1.1. Estudios específicos:

Escobar (2013), en su trabajo de investigación “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO A PARTIR DE LA MEZCLA CON RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN” sostiene que la tendencia actual de una gran proporción de estudios e investigaciones en el mundo está enfocada a la interacción del planeta con el hombre, principalmente sobre cómo se puede disminuir el impacto ambiental que generan las actividades desarrolladas para el sostenimiento y la vida de las personas.

En el área de suelos, por ejemplo, se buscan materiales que sean amigables con el medio ambiente y que a su vez ayuden a la mejora de estos.

Este trabajo de grado tuvo como propósito realizar un análisis por medio de ensayos de corte directo. Si los residuos de ladrillo (poco contaminado) se pudieran tomar como un material que mejorara las propiedades físicas y mecánicas de un suelo fino. Para poder analizar esto se realizaron 12 ensayos por cada muestra, y cada muestra tenía un porcentaje de ladrillo triturado diferente (0, 4, 8 y 12 %).

Con los resultados finales se pudo establecer que la cohesión del suelo aumenta al agregar ladrillo triturado cuando el porcentaje de material es 8%, mientras que el ángulo de fricción interno disminuye especialmente cuando la proporción del triturado es del 12%.

2.2. BASES TEORICAS:

2.2.1. MECANICA DE SUELOS:

2.2.1.1 Generalidades:

Tal como lo estableciera el Prof. Peck, la Mecánica de Suelos es una ciencia y la Ingeniería de Cimentaciones es un arte. Esta distinción debe ser bien entendida si se desea alcanzar progreso y eficiencia en ambos campos. Los atributos necesarios para practicar con éxito la ingeniería de cimentaciones son:

- a) Conocimiento de antecedentes
- b) Familiaridad con la Mecánica de Suelos
- c) Conocimiento práctico de Geología

Peck (1962) ha indicado que el atributo más importante de los tres es el conocimiento de antecedentes. La experiencia debe contribuir a la formación profesional, y por lo tanto debe buscarse y seleccionarse. Según Peck, la experiencia profesional no es una consecuencia del tiempo transcurrido en el ejercicio, sino más bien de la intensidad con que se adquiere y asimila tal experiencia. Los innumerables hechos acumulados durante la vida profesional no tendrían ningún valor si éstos no se pudieran organizar y aplicar a nuevos problemas.

La secuencia estratigráfica en la región Puno, está caracterizada por rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas; las edades van desde el Cámbrico al Cuaternario. La Ciudad de Juliaca se ubica en el Altiplano y Cordillera Occidental, en las cuales se encuentran las siguientes edades que componen su geología.

2.2.1.2. Clasificación de suelos desde el punto de vista de vías:

2.2.1.2.1. Descripción:

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuadas mediante los ensayos, tienen como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus caracteres físicos y sus propiedades geomecánicas. Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente, suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico.

Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal.

De las múltiples clasificaciones existentes, estudiaremos la que sin duda es la más racional y completa-clasificación de Casagrande modificada y otras de aplicación más directa en Ingeniería de Carreteras, como son la empleada por la AASHTO y SUCS.

El sistema de clasificación de suelos está basado en las Normas NTP 339.134 - ASTM D – 2487, AASHTO 1971. La Mecánica del Suelo en un esfuerzo considerable para crear un sistema de clasificación que, en efecto, permitir la agrupación de suelos con características similares, o en el aspecto genético, o de comportamiento.

Existen varios métodos de clasificación, los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y sub grupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitivamente variadas sin una

descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos.

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudios para diseño de pavimentos de carreteras y aeropistas son el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.

2.2.1.2.2. Sistemas de clasificación:

Los diferentes métodos se distribuyen en el siguiente modo:

- El sistema de clasificación AASHTO.
- El sistema de clasificación SUCS.

2.2.1.3. El sistema de clasificación de suelos AASHTO:

De acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8.

En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en un total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

Descripción de los grupos de clasificación:

A. Suelos Granulares:

Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz N° 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

Grupo A-1: El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también en este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Subgrupo A-1a: Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.

Subgrupo A-1b: Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien gradada, con o sin ligante

Grupo A-2: Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.

Subgrupos A-2-4 y A-2-5: Pertenecen a estos Subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o mayor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente.

Estos grupos incluyen aquellos suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tengan un contenido de limo, o índices de Grupo, en exceso a los indicados por el grupo A-1. Así mismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 y 1-2-7: Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.

Grupo A-3: En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

B. Suelos finos limo arcillosos:

Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7.

Grupo A-4: Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz número 200. Además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%.

Grupo A-5: Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tienen su límite líquido elevado.

Grupo A-6: El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%.

Grupo A-7: Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.

Grupo A-7-5: Incluyen aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Subgrupo A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además, experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

Tabla II.1.
Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación general	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			A-4	A-5	A-6	A-7	
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 mín				
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: AASHTO, 1993

Índice de grupo:

Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo, y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite de líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz número 200. Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4; los correspondientes a los suelos limos, entre 8 y 12 y los de suelos arcillosos, entre 11 y 20, o más. Cuando se indica un índice de grupo hay que colocarlo entre paréntesis. Así, por ejemplo, A-2-4 (1), quiere decir un suelo A-2-4 cuyo índice de grupo es 1.

Cálculo del índice de grupo:

Se calcula el índice de grupo, IG, a partir de la siguiente fórmula empírica.

$$IG = (F-35) ([0.2+0.005(LL-40)] + 0.01(F-15) (IP-10))$$

Dónde:

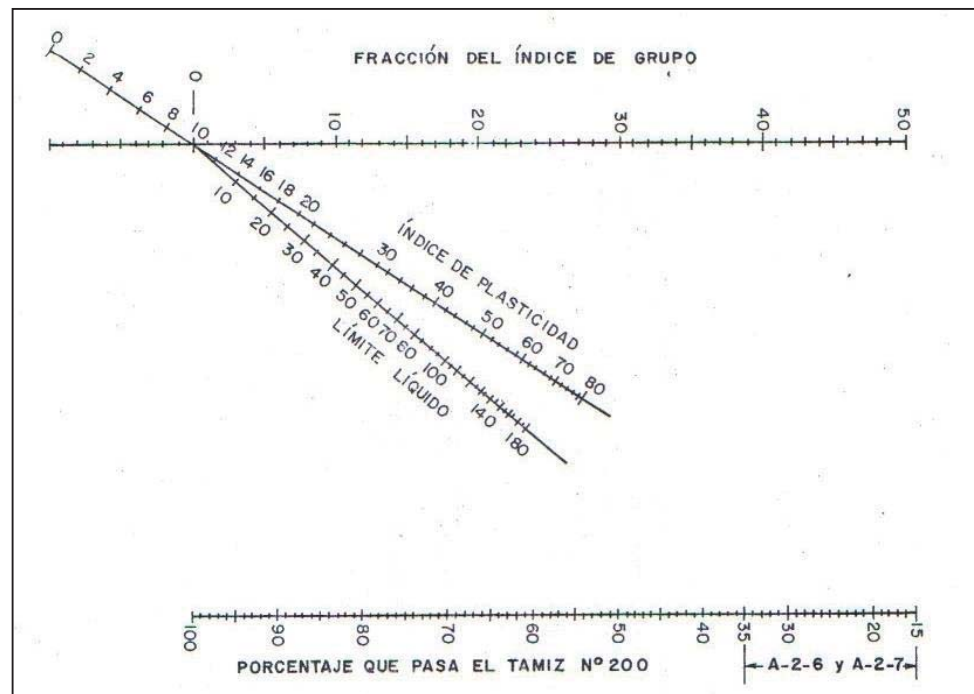
F : porcentaje que pasa el tamiz de #200, expresado como un número entero

LL : Límite líquido

IP : Índice de plasticidad

- Si el índice de grupo calculado es negativo registre el índice de grupo como cero.
- Si el suelo no es plástico y no se puede determinar el LL, registre el índice de grupo como cero.
- Registre el índice de grupo con el número entero más próximo.
- El valor del índice de grupo puede estimarse utilizando la tabla II.2

Tabla II.2.
Para la determinación de Índice de Grupo



Fuente: AASHTO, 1993

2.2.1.4. El sistema de clasificación de suelos S.U.C.S.

De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS (Unified Soil Clasificación System), conocido como Sistema Unificado de Clasificación de suelos. La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1942 con el objeto de clasificar el suelo con el propósito de usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el cuerpo de ingenieros del ejército durante la segunda guerra mundial el que decidió el nombre. En cooperación con la oficina de restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros (prueba D-2478) de la ASTM). Se toma en consideración el tamaño, los límites de coherencia, plasticidad se utilizan como elementos calificadores. Cada suelo está representado por dos letras: un prefijo y un sufijo. El prefijo de las subdivisiones está conectado con el tipo, el sufijo, a sus características, tamaño y plasticidad.

El sistema unificado de clasificación se representa en Prefijos y sufijos, los cuales clasifica a los suelos en dos amplias categorías.

Prefijos:

Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla N° 200. Los símbolos de grupo son.

- **G:** significa grava o suelo gravoso
- **S:** significa arena o suelo arenoso.
- Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla N° 200 Los símbolos del suelo comienzan con un prefijo.
- **M:** que significa limo inorgánico
- **C:** para arcilla orgánica
- **O:** para limos y arcillas orgánicos.

- El símbolo **Pt** se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Sufijos:

Cada uno de estos grupos se subdivide en dos grupos, representados por los sufijos: Otros símbolos son también usados para la clasificación

- **W:** bien graduado.
- **P:** mal graduado.
- **L:** Baja plasticidad (limite liquido menor que 50)
- **H:** alta plasticidad (limite liquido mayor que 50)

Se puede lograr con la combinación de estas cartas los siguientes subgrupos como se detalla en las siguientes tablas: II.3, II.4, II.5, II.6. Además de los grupos ya mencionados hay otro tipo de suelo que no está cubierta por ninguna de ellas y los suelos son de turba, formado por el alto contenido de materia orgánica y de alta compresión.

Información de los ensayos.

Para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

- Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa por malla de 76.2mm. y es retenida en la malla N° 4 (abertura de 4.75mm.).
- Porcentaje de arena, es decir la fracción que pasa por la malla N° 4 (abertura de 4.75 mm.) y es retenida en la malla N° 200 (abertura de 0.075 mm.).
- Porcentaje de limo y arcilla, es decir la fracción de finos que pasan la malla N° 200 (abertura de 0.075 mm.).
- Coeficientes de uniformidad (Cu) y coeficientes de curvatura (Cc).
- Limite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N° 40.

Tabla II.3.
Procedimiento de clasificación de los suelos

GW	< 15% arena	Grava bien graduada
	≥ 15% arena	Grava bien graduada con arena
GP	< 15% arena	Grava mal graduada
	≥ 15% arena	Grava mal graduada con arena

GW GM	< 15% arena	Grava bien graduada con limo
	≥ 15% arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW GC	< 15% arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP GM	< 15% arena	Grava mal graduada con limo
	≥ 15% arena	Grava mal graduada con limo y arena

Fuente: EG-2000-MTC, 2000.

Tabla II.4.
Procedimiento de clasificación de los suelos

GP GC	< 15% arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	< 15% arena	Grava limosa
	≥ 15% arena	Grava limosa con arena
GC	< 15% arena	Grava arcillosa
	≥ 15% arena	Grava arcillosa con arena
GC GM	< 15% arena	Grava limo arcillosa
	≥ 15% arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	< 15% arena	Arena bien graduada
	≥ 15% arena	Arena bien graduada con grava
SP	< 15% arena	Arena mal graduada
	≥ 15% arena	Arena mal graduada con grava
SW SM	< 15% arena	Arena bien graduada con limo
	≥ 15% arena	Arena bien graduada con limo y grava
Sw SC	< 15% arena	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP SM	< 15% arena	Arena mal graduada con limo
	≥ 15% arena	Arena mal graduada con limo y grava
SP SC	< 15% arena	Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	< 15% arena	Arena limosa
	≥ 15% arena	Arena limosa con grava
SC	< 15% arena	Arena arcillosa
	≥ 15% arena	Arena arcillosa con grava
SC	< 15% arena	Arena limo arcillosa
	≥ 15% arena	Arena limo arcillosa con grava

Fuente: EG-2000-MTC, 2000.

Carta de plasticidad:

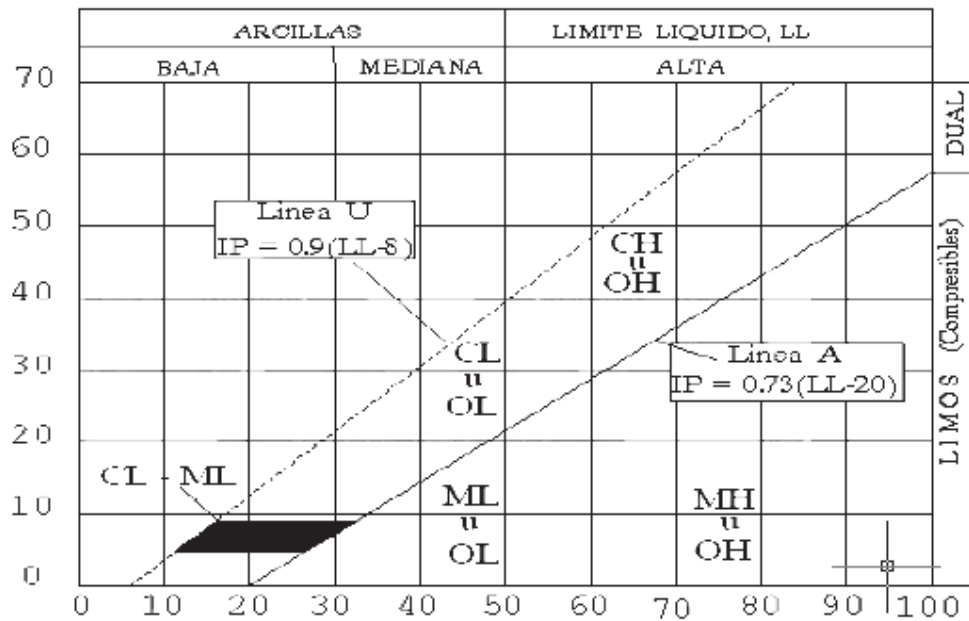
Los límites líquidos y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliadas por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales.

Con base en los resultados de prueba, propuso una carta de plasticidad que muestra la Grafico N° 01, la característica importante de esta carta es la línea A empírica dada por la ecuación $PI = 0.73 (LL-20)$. La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquella para Limos inorgánicos se hayan debajo de la línea A. los limos inorgánicos se grafican en la misma región (debajo de la línea A. los limos orgánicos se grafican en la misma región (debajo de la línea A y con el LL variando entre 30 y 50) que los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se graficas en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la línea A y LL mayor que 50).

La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es de base para la clasificación de los suelos de grano fino y el sistema unificado de clasificación de suelos. Note que una línea llamada línea U se encuentra arriba de la línea A. La línea U es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación para la línea U se da como:

$$PI = 0.9 (LL-8)$$

Tabla II.5.
Carta de clasificación (ASTM D-4220)



Línea U = $0.9 (LL - 8)$

Línea A = $0.73 (LL - 20)$

Fuente: Asociación Peruana de Caminos, 2000.

2.2.1.5. Investigación y evaluación de suelos para el diseño de un pavimento:

Para la obtención de la información geotécnica básica de los diversos tipos de suelos deben efectuarse investigaciones, de campo y laboratorio, que determinen su distribución y propiedades físicas. Una investigación de suelos debe comprender:

1. Selección de las unidades típicas de diseño: Consiste en la delimitación de las unidades homogéneas de diseño con base en las características: geológicas, pedológicas, topográficas y de drenaje de la zona en proyecto.

2. Determinación del perfil de suelos la primera labor por llevar a cabo en la investigación de suelos consiste en la ejecución

sistemática de perforaciones en el terreno, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelos, la forma como éstos están dispuestos en capas y la detección de la posición del nivel de agua freática.

Teniendo en cuenta que es imposible realizar un estudio que permita conocer el perfil de suelos en cada punto del proyecto, es necesario acudir a la experiencia para determinar el espaciamiento entre las perforaciones con base en la uniformidad que presenten los suelos. Un criterio para la ubicación, profundidad y número de las perforaciones se presenta a continuación en la Tabla II.10.

Lógicamente, la ubicación, profundidad y número de perforaciones deben ser tales que permitan determinar toda variación importante de la calidad de los suelos. En cada perforación que se efectúe, se debe anotar el espesor de las diversas capas encontradas y su posición exacta en sentido vertical, así como la identificación visual de los materiales, indicando su color y consistencia.

Deberá registrarse, además, la posición del nivel freático en caso de detectarse, por cuanto este dato es importante para el diseño de los dispositivos de sub drenaje que sean necesarios en la obra vial.

Tabla II.6.
 Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos

Tipos de zona	Espaciamiento	Profundidad
1. Carreteras	250 -500 m	1.50 m
2. Pistas de aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60-70 m	Cortes: -3m debajo de la rasante Rellenos: -3 m debajo de la superficie existente del suelo.
3. Obras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1.000 m ²	Cortes: 3m debajo de la rasante Rellenos: 3 m debajo de la superficie existente del suelo.
4. Préstamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material.	Hasta la profundidad que se propone usar con préstamo.

Fuente: Elaboración propia

3. Muestreo de las diferentes capas de suelos: En cada perforación ejecutada deberán tomarse muestras representativas de las diferentes capas de suelos encontradas. Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones en que se encontraba en el terreno de donde procede e inalterada en el caso contrario. En la obtención de muestras alteradas debe efectuarse el siguiente procedimiento:

- a) Se retira la parte seca y suelta de cada estrato con el propósito de obtener una superficie fresca.

- b) Se toma una muestra de cada capa en un recipiente y se coloca una tarjeta de identificación que debe contener: nombre del proyecto, sector en estudio, número de la perforación, localización de la perforación, número de la muestra, espesor del estrato y enumeración de los ensayos de laboratorio a que será sometida.

- c) Las muestras se envían en bolsas al laboratorio, para obtener muestras inalteradas, el caso más simple consiste en cortar un determinado trozo de suelo del tamaño deseado, normalmente de 0.30m x 0.30m x 0.30m, cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo adecuadamente para su envío y procesamiento en el laboratorio.

4. Ensayos de laboratorio a las muestras obtenidas para determinar sus propiedades físicas en relación con la estabilidad y capacidad de soporte de la subrasante: Con el objeto de establecer las propiedades físicas de cada suelo muestreado y estimar su comportamiento bajo diversas condiciones es necesario efectuar varias pruebas. Al respecto, se encuentran normalizadas cierto número de pruebas cuyos nombres identifican las características que determinan.

A continuación, se indican las pruebas más aplicables en la pavimentación de carreteras y aeropistas.

a) Determinación del contenido de humedad: Es un ensayo que permite determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Una masa de suelo tiene tres constituyentes: las partículas sólidas, el aire y el agua. En los suelos que consisten en partículas finas, la cantidad de agua presente en los poros tiene un marcado efecto en las propiedades de los mismos. El conocimiento de la humedad natural de un suelo no sólo permite definir a priori el tratamiento a darle, durante la construcción, sino que también permite estimar su posible

comportamiento, como subrasante, pues, si el contenido natural de agua de un suelo está próximo al límite líquido, es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si, por el contrario, el contenido de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

b) Análisis granulométrico: Es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo. Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. Por ejemplo, para clasificar: por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

c) Determinación del límite plástico de los suelos: El límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

d) Determinación del límite líquido de los suelos: El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.

e) Peso específico se define como peso específico de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan. El valor del peso específico, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, determinación de la densidad de equilibrio de un suelo y corrección de la densidad en el terreno por la presencia de partículas de agregado

grosso, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de Suelos.

f) Ensayos de compactación de suelo: Se entiende por compactación todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

g) Determinación de la densidad del suelo en el terreno: Este ensayo tiene por objeto determinar el peso seco de una cierta cantidad de suelo de la capa cuya densidad se desea conocer, así como el volumen del orificio excavado para recoger el suelo, el cual se mide mediante una arena y procedimiento normalizados. La relación entre el peso seco del material y el volumen del orificio del cual se extrajo es la densidad seca de la capa cuyo nivel de compactación se verifica.

h) Determinación de la resistencia de los suelos, los ensayos de resistencia más difundidos en nuestro medio son el CBR (de laboratorio y campo) y los ensayos de carga sobre una placa.

- Ensayo de CBR (Relación Californiana de Soporte): (AASHTO-T193-63) El índice de california (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de pavimentos flexibles. El CBR se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida.
- Ensayo de carga directa sobre placa (AASHTO D1195 y D1196): Esta prueba se utiliza para evaluar la capacidad portante de las

sub-rasantes, las bases y, en ocasiones, los pavimentos completos. Aunque esta prueba es generalmente aplicada al diseño de pavimentos rígidos, en la actualidad también se utiliza en pavimentos flexibles.

1.

El ensayo básicamente consiste en cargar una placa circular, en contacto estrecho con el suelo por probar, midiéndose las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados. A través de esta prueba es posible calcular el módulo de reacción de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión necesaria que ha de transmitirse a la placa para producir en el suelo una deformación prefijada.

I) Ensayos Adicionales. En algunas ocasiones, existen o se prevé condiciones especiales o poco usuales de los suelos, en tales casos es necesario efectuar pruebas adicionales. Por ejemplo. Un suelo expansivo afectado por grandes variaciones climáticas de humedad pueda requerir estabilización con algún aditivo, o compactación a baja densidad, con alto contenido de humedad, en cada caso ajustándose a las indicaciones de práctica local, tipo de superficie y cargas de diseño. Los suelos son bajas densidades de campo y/o susceptibles de consolidación, pueden necesitar un aumento de la densidad hasta mayores profundidades que las necesarias para un diseño normal.

5. Determinación del suelo típico de subrasante para una unidad de diseño. La observación cuidadosa del perfil de suelos de cada unidad, permitirá definir el suelo típico de ella.

6. Medida y selección del valor de resistencia de un suelo típico de subrasante. Sobre los suelos de subrasante que predominan en cada unidad, se adelantarán ensayos "in situ" o en laboratorio, que permitan conocer su resistencia en las condiciones de equilibrio que se espera presenten durante el período de servicio del pavimento. La cantidad de ensayos por realizar sobre cada suelo, debe ser tal que

permita definir sus características de resistencia, con un apropiado grado de confiabilidad.

El número recomendable de pruebas oscila entre seis (6) y ocho (8) y sus resultados deben procesarse por medios estadísticos que permitan la selección de un valor correcto de resistencia de diseño para cada unidad o suelo predominante de cada una de ellas. El criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, que el 60, el 75 o el 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento.

2.2.2. EXPLORACION DE SUELOS:

2.2.2.1. Descripción:

El objetivo de una investigación exploratoria, incluyendo pruebas de campo y laboratorio, es facilitar al ingeniero los datos cuantitativos del suelo del lugar que se investiga, para dar recomendaciones para la construcción de la obra. Para llegar el laboratorio a unos resultados razonablemente dignos de crédito, es preciso cubrir en forma adecuada una etapa previa e imprescindible, como es la obtención de las muestras del suelo, apropiadas para la realización de las pruebas correspondientes.

Por procedimientos simples y económicos debe procurar adquirir información preliminar suficiente respecto al suelo, que con ayuda de pruebas de clasificación tales como granulometrías, plasticidad, humedad etc. Permitan al ingeniero formarse una idea clara de los problemas que se han de esperar en cada caso particular. Un aspecto de importancia fundamental en la exploración es buscar la colaboración de ciencias, que como la geología pueden dar en

ocasiones información de carácter general y muy importante. Es de importancia el reconocimiento geológico e imprescindible el cual será previo a cualquier otra actividad realizada por el especialista en suelos.

Procedimientos de exploración y muestreo de suelos:

En este apartado se describen las técnicas más comúnmente empleadas en el campo para obtener la información básica necesaria para realizar el estudio geotécnico del sitio de una pavimentación de vías y conocer mejor la estructura del suelo.

Los trabajos de campo constituyen el inicio del estudio geotécnico en el cual se requiere conocer la estratigrafía y las propiedades mecánicas de los suelos del sitio. Este conocimiento se obtiene mediante trabajos de exploración geológica superficial complementados por la obtención de muestras representativas de los diferentes estratos de suelos y que forman el subsuelo del lugar.

La inspección y clasificación de las muestras permite definir la secuencia que guardan dichos estratos y su espesor (estratigrafía). El análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras, en el laboratorio, suministra la información necesaria para definir las características de granulometría, plasticidad y contenido de agua, así como las propiedades mecánicas que incluyen: la resistencia al corte, la deformabilidad y la permeabilidad de cada estrato.

En conjunto, esta información constituye la base de los análisis geotécnicos posteriores que fundamentan las decisiones prácticas del Ingeniero. Por ello, parafraseando al Profesor Arthur Casagrande, se puede afirmar que: "La calidad de las conclusiones prácticas de un estudio geotécnico no podrá ser nunca mejor que la calidad de las muestras de suelos o rocas y de la información obtenida de los estudios de campo en que se basa".

Debe entenderse que el concepto de calidad de la información geotécnica de campo comprende, no solamente, la confiabilidad de los datos obtenidos, sino también la amplitud y profundidad del estudio, que deben ser suficientes para definir con claridad los problemas a resolver y para cuantificar, con precisión adecuada, las alternativas de soluciones prácticas aplicables a cada problema identificado en el estudio. Esto implica, necesariamente, una cantidad mínima indispensable de información pertinente y detallada, de alta confiabilidad, lo que conlleva la necesidad de que los trabajos de muestreo sean siempre realizados por personal competente y bajo la supervisión responsable de un Ingeniero Geotécnico.

Generalmente, el monto de los estudios de campo representa una proporción importante del costo total de un estudio geotécnico y, lógicamente, es la primera en ser sacrificada en aras de una oferta más atractiva. Esta natural actitud conduce, frecuentemente, a una información geotécnica inadecuada e insuficiente y, por lo tanto, a un inevitable sacrificio de la calidad de las conclusiones prácticas del estudio, que se traduce, finalmente, en soluciones de diseño y construcción conservadoras, en el mejor de los casos, o inseguras en el peor, pero que en cualquiera de los casos implican, para la obra, un costo adicional escondido, a menudo muchas veces mayor que el ahorro obtenido en un estudio geotécnico inadecuado e insuficiente.

2.2.2.2. Métodos de exploración:

Se han desarrollado muchas técnicas de exploración diferentes, algunas son apropiadas para una gran variedad de condiciones mientras que otras están limitadas a casos especiales. Los tipos principales de exploración que se usan en mecánica de suelos, para fines de muestreo y conocimiento del sub suelo, en general son los siguientes:

A. Métodos de Exploración Carácter Preliminar:

Pozos a Cielo Abierto:

Son excavaciones de dimensiones suficientes para que un técnico pueda bajar directamente y examinar los diferentes estratos, el cual debe de aplicar bien su criterio al analizar el suelo y llevar un registro completo de las condiciones del mismo en sus diferentes estratos, como son la humedad, color, estado natural, etc.

La excavación de pozos a cielo abierto con el empleo del pico y la pala permite recuperar buenas muestras representativas alteradas del subsuelo, sin embargo, su aplicación principal es la obtención de muestras inalteradas de la más alta calidad y sólo esta aplicación justifica su costo.

Perforaciones con Posteadoras, Barrenos Helicoidales:

La barrena helicoidal y la pala posteadora, son adecuadas para aquellos casos en los que la profundidad de la exploración sea menor de unos 12 m. Con estas herramientas se obtienen muestras alteradas de arenas, limos, arcillas o mezclas de éstos, que no contengan gravas o cantos rodados o estén endurecidos por cementación de sus partículas. Son herramientas útiles y fáciles de operar hasta profundidades de 10 a 12 m, si la pared de la perforación es estable. Cuando los suelos se encuentran arriba del nivel freático las muestras obtenidas con estas herramientas son representativas.

Pero cuando se encuentran bajo el agua, no es posible recuperar muestras confiables de las arenas sin cohesión, en tanto que de los suelos con cohesión, que no son lavados por el agua de la perforación, se obtienen muestras aceptables para fines de clasificación, aunque su contenido de agua es generalmente mayor que el valor natural del suelo inalterado. Con este tipo de

herramientas no es posible determinar la compacidad de las arenas ni la consistencia de las arcillas, pero se pueden combinar con pruebas de penetración dinámica.

Perforación con Chiflón y Ademe:

Consiste en hincar, a golpe, mediante un martillo de caída libre que se mueve a lo largo de una guía, un tubo cuyo diámetro interior es de 7.5 a 15.0cm, provisto en su extremo inferior de una zapata afilada, de acero endurecido. Después que se ha hincado un tramo de tubo de ademe, se procede a introducir en él una barra de perforación o tubo para agua, reforzado, que lleva en el extremo inferior un trépano, a manera de cincel, provisto de agujeros por donde circula agua a gran velocidad y presión; la línea de tubería del trépano se conecta a una bomba de alta presión que hace circular el agua y, mediante movimientos ascendentes y descendentes alternados de la barra, acompañados de pequeños giros, se va aflojando y extrayendo el material que ha quedado dentro del ademe para limpiarlo totalmente, hasta alcanzar el nivel inferior de la zapata.

Prueba de Penetración Dinámica Estándar:

Después de limpiar con el chiflón el interior del ademe hasta su extremo inferior, se obtienen muestras alteradas del suelo hincando a golpe un tubo muestreador, conocido como penetrometro estándar. Este tubo muestreador consiste en un tubo de pared gruesa provisto en sus extremos de dos piezas roscadas. El tubo estándar tiene una longitud de 60.0cm, diámetro interior de 3.50cm y diámetro exterior de 5.00cm; la longitud total del muestreador es de 75.00cm.

Una canastilla de laminillas de acero colocada en la zapata del muestreador y una funda interior de polietileno flexible permiten retener muestras de suelo de cualquier tipo que penetren al tubo; el

polietileno sirve también de envoltura y protección a las muestras de suelo contra pérdida de agua después de extraerlas del muestreador.

Prueba de Penetración Estándar en Arenas:

En depósitos de arena, donde la obtención de muestras inalteradas ofrece algunas dificultades prácticas, la resistencia a la penetración estándar N , se utiliza para estimar, empíricamente, el 'Ángulo de fricción interna efectivo ϕ ' y la compresibilidad de estos suelos.

Valores que se emplean como base del diseño de cimentaciones y del procedimiento de construcción; sin embargo, en tales casos, los valores de la resistencia a la penetración N , deben emplearse con cautela, ya que, en ciertas condiciones, pueden conducir a errores substanciales. A continuación, se exponen algunas precauciones que se deben tomar para el buen uso de estos valores en diferentes casos.

Precauciones en el Uso de la Prueba de Penetración Estándar:

La experiencia ha demostrado que la resistencia a la penetración N , del tubo muestreador estándar, es una medida aproximada de la compacidad relativa C_r , de los depósitos de arena. Por otra parte, a través de la compacidad relativa, se ha correlacionado también, indirectamente, con el valor del ángulo de fricción interna ϕ' . Según se explica al tratar de la resistencia al corte de las arenas; para una misma compacidad relativa el ángulo de fricción interna varía con la graduación del material y con la angulosidad de sus partículas, correspondiendo los mínimos valores a las arenas finas mal graduadas, (SP), o arenas finas limosas (SM), formadas por partículas finas redondeadas, como se observa en la curva (2), y los máximos a las arenas gruesas, bien graduadas y de partículas angulosas (SW), como se ve en la curva (1).

Prueba de Penetración Estándar en Arcillas:

Por una parte, el remoldeo que introduce el tubo muestreador, hace que la resistencia de la arcilla a la penetración del propio tubo sea menor que la que corresponde a su estado natural; por otra, es bien sabido que las arcillas exhiben una mayor resistencia a medida que la velocidad de la deformación aumenta, como consecuencia de fenómenos de viscosidad. En tales condiciones, es evidente que la resistencia a la penetración dinámica, (número de golpes N), aun cuando proporciona alguna información relativa de la consistencia natural de la arcilla, no debe tomársele como una medida precisa de su resistencia al corte.

En estudios preliminares, cuando se tienen arcillas que ofrecen una resistencia a la penetración estándar N, mayor de 5 golpes, puede utilizarse la siguiente expresión empírica, basado en el criterio originalmente propuesto por Terzaghi y Peck para estimar, la resistencia al corte de la arcilla.

$$C_u = \frac{N}{15}$$

Donde c_u , es la resistencia al corte no drenado de la arcilla, en kg/cm²

Penetración Estándar en Suelos Limosos, Parcialmente Saturados:

La información proporcionada por la prueba de penetración dinámica, en cuanto a la consistencia natural de los suelos finos no plásticos (limos o limos arenosos), parcialmente saturados, ofrece gran incertidumbre, ya que, en estos materiales, las variaciones de la resistencia y la compresibilidad con el grado de saturación y la compacidad, son muy importantes. Cuando tienen baja compacidad y

están sometidos a una carga, al saturarlos, se producen fuertes asentamientos bruscos, acompañados de una disminución considerable de la resistencia al corte, a consecuencia de la pérdida de la cohesión aparente. Por consiguiente, no puede confiarse en el valor del índice de penetración como medida de la resistencia al corte ni de la compresibilidad. Se concluye que, en estos casos es preferible recurrir a la medición directa de la resistencia al corte y de la compresibilidad en el laboratorio, en especímenes inalterados.

Prueba de Penetración Estática:

Este tipo de prueba de campo consiste en hincar en el terreno, mediante un gato hidráulico, una barra de acero cuyo extremo inferior se instala una punta cónica; midiendo la fuerza necesaria para hincar la punta se determina la resistencia que el suelo opone a la penetración estática, y este valor se puede correlacionar, empíricamente con la resistencia al corte de las arcillas y con su compresibilidad, así como con la compacidad relativa de las arenas.

2.2.2.3. Obtención de Muestras Inalteradas:

En esta etapa se realizan trabajos de campo detallados, en puntos particulares del sitio y en estratos específicos, escogidos ambos en función de la definición previa de los problemas particulares que presentan los suelos y las rocas del lugar, según la información preliminar obtenida de la etapa anterior. La etapa final de campo comprende la obtención de muestras inalteradas, de la mejor calidad posible, de los estratos de suelo involucrados en cada caso; estas muestras son indispensable para la ejecución de ensayos de laboratorio confiables, cuyos resultados numéricos serán la base de los análisis de la capacidad carga y de los asentamientos o expansiones, que definirán el diseño de la cimentación y los procedimientos de construcción, así como su comportamiento

inmediato y futuro. En ocasiones, cuando no es posible recuperar muestras inalteradas de algunos suelos o rocas con los equipos de muestreo tradicionales, o no es posible realizar pruebas de laboratorio en especímenes de gran tamaño, es necesario recurrir a la ejecución de pruebas mecánicas de campo, como complemento del estudio.

Pozos a Cielo Abierto:

Muestras inalteradas de la mejor calidad se obtienen excavando pozos a cielo abierto, con sección cuadrada o circular, de 1.50 a 2.00m por lado o diámetro, hasta profundidades de 5.00 a 10.00m, si el nivel freático se encuentra a mayor profundidad. La excavación permite obtener la siguiente información:

- La observación detallada de la estratigrafía y la clasificación geológica y geotécnica de cada estrato.
- Obtención de muestras inalteradas labradas directamente de cada uno de los estratos; las muestras pueden ser de forma cubica, de 20cm por lado, o cilíndricas de 20cm de diámetro, después de labradas se protegen envolviéndolas en una capa de tela recubierta con una mezcla de cera, parafina y brea, en partes iguales, para evitar la pérdida de humedad; puede usarse también envoltura de plástico Egapack.
- Cuando no se pueden labrar buenas muestras por falta de cohesión del suelo, o por la presencia de gravas grandes o cantos rodados, puede ser necesario utilizar en el sitio pruebas mecánicas de gran tamaño para determinar la resistencia al corte y la compresibilidad de esos materiales.

Muestreo Inalterado de Suelos Finos Cohesivos:

En los suelos finos cohesivos, como son: las arcillas, arcillas limosas o arenosas o mezclas de arena, limo y arcilla que contienen más de 20% de finos plásticos, pero no contienen grava, pueden obtenerse muestras inalteradas de calidad satisfactoria empleando muestreadores tubulares de pared delgada hincados a presión y velocidad constantes en perforaciones de pequeño diámetro, de 10.00 a 20.00cm. Existen varios diseños de tubos muestreadores de este tipo, entre los cuales el más utilizado y sencillo es el conocido como tubo Shelby. La presencia de gravas o boleos impide el uso de tubos muestreadores de pared delgada.

Muestreador de Doble Tubo:

En arcillas duras, puede recurrirse al uso de un tubo con pared más gruesa, para darle mayor resistencia estructural; puede aceptarse una relación de áreas hasta de 20 %, colocándole una zapata de corte alargada con un ángulo exterior. Un muestreador de diseño reciente desarrollado por E. Santoyo Villa, tiene una pared más gruesa que el tubo Shelby normal, pero gracias a sus características de diseño produce muestras de gran calidad y alta recuperación tanto en arcillas muy duras como en las más blandas.

Está provisto de un dispositivo para crear vacío que actúa sobre la cabeza de la muestra y evita que ésta sea expulsada por el agua de la perforación al ser extraído el muestreador. La muestra de suelo es recibida y protegida por un tubo interior de aluminio anodizado y barnizado que impide la corrosión. El tubo interior tiene 10 cm de diámetro y espesor de 1mm y está dividido en segmentos de 20cm de longitud, torneados en sus extremos para un ajuste perfecto entre ellos. La zapata de corte es de acero de alta dureza y filo muy agudo, y su ángulo exterior es pequeño.

2.2.3. COMPACTACION DE SUELOS:

2.2.3.1. Generalidades:

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso volumétrico seco máximo del suelo que para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada que se conoce como humedad óptima. La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. Las ventajas que representa una compactación adecuada son:

- a) El volumen de vacío se habrá reducido a un mínimo y consecuentemente, su capacidad de absorber humedad también se habrá reducido a un mínimo.
- b) La reducción de vacíos se debe a que las partículas de menor tamaño han sido forzadas a ocupar el vacío formado por las partículas más grandes. De allí que si una masa de suelos está bien graduada, los vacíos o poros se reducirán prácticamente a cero y se establecerá un contacto firme y sólido entre sus partículas, aumentando la capacidad del suelo para soportar mayores pesos.

2.2.3.2. Método PROCTOR:

Consiste en compactar el material dentro de un molde metálico y cilíndrico, en varias capas y por la caída de un pistón. Existen dos variaciones del MÉTODO PROCTOR. Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales con los que se trabaje en cada caso. Los suelos puramente friccionantes como la arena se compactan eficientemente por métodos vibratorios y métodos estáticos; en cambio los suelos plásticos, el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. Los métodos usados para determinar la densidad máxima y humedad óptima en trabajos de mantenimiento y construcción de carreteras son los siguientes: Proctor Estándar, Proctor Modificado y Prueba Estática.

Ensayo Proctor estándar:

El Ensayo Proctor estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

Objetivos:

- Determinar el peso volumétrico seco máximo (γ_d máx) que pueda alcanzar un material, así como la humedad óptima (W óptima) a que deberá hacerse la compactación.
- El ensayo proctor standard está limitado a los suelos que pasen totalmente el tamiz No. 4, o que como máximo tenga un retenido del 10% en ese tamiz, pero que pase dicho retenido totalmente por el tamiz de 3/8".

Tabla II.7.
Especificaciones para el ensayo Proctor Estándar

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.30	2124.00	943.30	2124.00
Peso del martillo o pisón (Kg)	2.50	2.50	2.50	2.50
Altura de caída del martillo (cm)	30.48	30.48	30.48	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25.00	56.00	25.00	56.00
Numero de capas de compactación	3.00	3.00	3.00	3.00
Energía de compactación (Kg-cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03
Suelo por usarse Pasa por	100 % Tamiz Nro 4	100 % Tamiz Nro 3/8"	El 20 % Tamiz Nro 4	Pasa 100 % Tamiz Nro 3/8"

Fuente: EG-2000-MTC, 2000.

Equipo:

1. Un molde de compactación constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior. Por 4 ½" de altura y una extensión de 2 ½" de altura y de 4" de diámetro interior.
2. Un pisón metálico (martillo Proctor) de 5.5 lbs. De peso (2.5 Kgs.) de 5 cm (2") de diámetro.
3. Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
4. Una regla metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
5. Una balanza de 29 Kgs de capacidad d y de 1.0 Gr. De sensibilidad.

6. Una balanza de 500 Gr. De capacidad y de 0.01 Gr de sensibilidad.
7. Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110° C.
8. Farola metálica.
9. Probetas graduadas de 500 cm³.
10. Extractor de muestras.
11. Tara para determinar humedad.

Procedimientos:

Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método a usarse puede ser de 3, 7, 5 y 12 kilogramos.

1. De la muestra ya preparada se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor del 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor.
2. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya Uniformemente.
3. Pese el molde cilíndrico y anote su peso.
4. La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente: Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se

suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

5. Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
6. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindro).
7. Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte Central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr., y se pesa en la balanza de 0.1 gr., se sensibiliza anotando su peso. (Peso húmedo).
8. Deposite el material en el horno a una temperatura de 100 a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
9. El material sacado del cilindro se desmenuza y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 4 al 8% mayor al anterior.
10. Repita los pasos del 2 al 9 hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.

2.2.3.3. Compactación:

Estos valores máximos y óptimos son los que se reproducirán en el campo al compactar se realizan el siguiente ensayo.

2.2.3.3.1. Ensayo Proctor modificado:

El ensayo de Proctor modificado se crea al crearse también equipos compactadores más pesados que se usan en la pavimentación de carreteras y aeropuertos.

Tabla II.8.
Especificaciones para el ensayo Proctor Modificado (basadas en la norma 1557-91 de la ASTM).

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.30	2124.00	943.30	2124.00
Peso del martillo o pisón (Kg)	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída del martillo (cm)	45.70	45.70	45.70	45.70
Numero de golpes del pisón por cada capa	25.00	56.00	25.00	56.00
Numero de capas de compactación	5.00	5.00	5.00	5.00
Energía de compactación (Kg-cm/cm ²)	16.49	16.42	16.49	16.42
Suelo por usarse Pasa por	100 % Tamiz Nro 4	100 % Tamiz Nro 3/8"	El 20 % Tamiz Nro 4	Pasa 100 % Tamiz Nro 3/8"

Fuente: Montejo, ingeniería de pavimentos, 2006.

Equipo:

El equipo para Proctor modificado es igual que el Proctor estándar con la única Diferencia siguiente.

1. Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ "de altura y de 4" de diámetro interior

2. Un pistón o martillo y su guía de 45 cms., de caída y 4.54 kg de peso.
3. Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
4. Una balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr. de sensibilidad.
5. Una balanza de 500 gr., de capacidad y de 0.01 gr., de sensibilidad.
6. Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100
7. Extractor de muestras.
8. Tara para determinar humedad.

Procedimientos:

Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método a usarse puede ser de 3, 7, 5 y 12 kilogramos.

1. De la muestra ya preparada se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor del 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor.
2. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya Uniformemente.
3. Pese el molde cilíndrico y anote su peso.
4. La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en cinco (5) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se

eleva el pistón, hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 45.7 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 o 56 (según el método) golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las cinco capas del material.

5. Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
6. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindro).
7. Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr., y se pesa en la balanza de 0.1 gr., se sensibiliza anotando su peso. (Peso húmedo).
8. Deposite el material en el horno a una temperatura de 100 a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
9. El material sacado del cilindro se desmenuza y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 4 al 8% mayor al anterior.
10. Repita los pasos del 2 al 9 hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.

2.2.3.4. Ensayo de Compactación:

Generalidades:

El propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es determinar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en abscisas el contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca. A partir de ella, se podrá obtener la humedad llamada óptima que es la que corresponde a la densidad máxima.

Con estos resultados se podrá determinar la cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacta el suelo en terreno para obtener la máxima densidad seca para una determinada energía de compactación. Para cumplir este propósito, un ensayo de laboratorio debe considerar un tipo de compactación similar a la desarrollada en terreno con los equipos de compactación a especificar.

El agua juega un papel importante, especialmente en los suelos finos. Hay que hacer notar que cuando hablamos en este párrafo de suelos finos, no estamos refiriéndonos a suelos que contengan más de un 50% de finos, sino a la fracción fina que controla este comportamiento. Esta fracción fina, que puede ser para gravas sobre un 8% y para arenas sobre un 12% (Holtz 1973), lleva a limitar el uso de la densidad relativa y, por lo tanto, obliga a su reemplazo por el ensayo de compactación.

El agua en poca cantidad, se encuentra en forma capilar produciendo tensiones de Compresión entre las partículas constituyentes del suelo que llevan a la formación de grumos difíciles de desintegrar y que terminan por dificultar la compactación. Mirado desde un punto de vista físico-químico, se produce una tendencia a la floculación entre las partículas arcillosas, lo que produce uniones entre partículas difíciles de romper. El aumento del contenido de humedad hace disminuir la tensión capilar – y a nivel fisicoquímico facilita la

separación de las partículas - haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados en el grado de consistencia del suelo, representado por un menor índice de vacíos y un mayor peso unitario seco. Si por otra parte, el agua pasa a existir en una cantidad excesiva antes de iniciar la compactación, ella dificultará el desplazamiento de las partículas de suelo – debido a la baja permeabilidad del suelo y por ende a la dificultad de su eliminación - produciendo una disminución en la eficiencia de la compactación. En consecuencia, existirá para un determinado suelo fino y para una determinada energía de compactación, una humedad óptima para la cual esta energía de compactación producirá un material con densidad seca máxima. Al compactar un suelo se persigue lo siguiente:

- (a) disminuir futuros asentamientos
- (b) aumentar la resistencia al corte
- (c) disminuir la permeabilidad

Para asegurar una compactación adecuada debe realizarse, canchas de prueba en terreno que permitirán definir los equipos de compactación más adecuados para esos materiales, los espesores de capa y número de pasadas del equipo seleccionado para cumplir con las especificaciones técnicas de densidad seca. El control de la obra final se realizará a través de determinaciones de los parámetros densidad seca y humedad de compactación de los rellenos colocados.

Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima que es un porcentaje de la densidad máxima seca obtenida en el laboratorio. Una práctica común para numerosas obras es exigir a lo menos el 95% del Proctor Modificado.

Definiciones:

En 1933, R.R. Proctor definió el ensayo conocido como Proctor Estándar, el cual consiste en tomar una muestra de 3 kg de suelo, pasarla por el tamiz # 4, agregarle agua cuando sea necesario, y compactar este suelo bien mezclado en un molde de 944 cm³ en tres capas con 25 golpes por capa de un martillo de compactación de 24.5 N con altura de caída de 0.305 m. Esto proporciona una energía nominal de compactación de 593.7 kJ/m³.

Cuando el ensayo incluye el reuso del material, la muestra es removida del molde y se toman muestras para determinar el contenido de humedad para luego desmenuzarla hasta obtener grumos de tamaño máximo aproximado al tamiz # 4. Se procede entonces a agregar más agua, se mezcla y se procede a compactar nuevamente el suelo en el molde. Esta secuencia se repite un número de veces suficiente para obtener los datos que permitan dibujar una curva de densidad seca versus contenido de humedad con un valor máximo en términos de densidad seca, y suficientes puntos a ambos lados de éste. La ordenada de este diagrama se conoce como la densidad máxima, y el contenido de humedad al cual se presenta esta densidad se denomina humedad óptima.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los nuevos y pesados equipos de aviación pasaron a exigir densidades de subrasante en las aeropistas, mayores que el 100 % del Proctor Estándar. Se introdujo entonces el ensayo de compactación modificado (Proctor Modificado, ensayo modificado AASHTO, o ensayo de compactación modificado) en el que se utiliza una mayor energía de compactación.

Las características básicas del ensayo son la misma del ensayo estándar de compactación.

El ensayo de compactación modificado aplica una energía nominal de compactación al suelo de 2710 kJ/m³ lo que representa cerca de 5 veces la energía de compactación del ensayo estándar produciendo un incremento entre un 5 y un 10 % de la densidad y una disminución en la humedad óptima. Toda curva de compactación estará siempre por debajo de la curva de saturación, S = 100% la que puede ser graficada en la curva de compactación una vez conocido el peso específico de los granos, G_s. En el mismo gráfico se pueden incluir las curvas para S = 90 y 80 %.

La curva S = 100% se obtiene calculando, para cualquier contenido de humedad w, su peso unitario seco:

$$Y_d = \frac{G_s - Y_w}{1 + W \cdot G_s}$$

Dónde:

G_s : densidad de los sólidos

Y_w : peso unitario del agua

w : contenido de humedad

La densidad seca la podemos expresar en función de la densidad húmeda y el contenido de Humedad:

$$Y_d = \frac{Y_t}{1 + W}$$

Dónde:

y_t : densidad húmeda

w : contenido de humedad

Las curvas para otros grados de saturación, pueden ser fácilmente calculadas.

Equipo:

- Molde de compactación con base y collar
- Martillo de compactación

- Latas para contenido de humedad
- Espátula metálica

Procedimiento (Proctor Modificado):

1. Cada grupo debe tomar 7 kg (peso nominal) de suelo secado al aire, desmenuzado para que pase a través del tamiz # 4; luego debe ser mezclado con la cantidad de agua necesaria para alcanzar el contenido de humedad basado en porcentaje de peso seco; la humedad deberá ser, para este primer ensayo, aproximadamente un 4 a 5 % menor que la humedad óptima estimada; debe quedar claro que el suelo y el agua en un ensayo deberían mezclarse con anterioridad y dejarse curar - para asegurar su distribución homogénea - durante 24 horas cuando se trabaja con suelos cuyos finos sean plásticos; sin embargo, en esta sesión de laboratorio para estudiantes, esta etapa podrá omitirse.
2. Pesar el molde de compactación, sin incluir la base ni el collar.
3. Medir las dimensiones internas del molde de compactación para determinar su volumen.
4. Compactar el suelo en 5 capas aplicando 56 golpes sobre cada una (para molde grande); se debe procurar que la última capa quede por sobre la altura del molde de compactación; en caso que la superficie de la última capa quedara bajo la altura del molde, se debe repetir el ensayo; se debe evitar además que esta última capa exceda en altura el nivel del molde en más de 6 mm ya que al enrasar se estaría eliminando una parte significativa del material compactado, disminuyendo la energía de compactación por unidad de volumen.
5. Retirar cuidadosamente el collar de compactación, evitar girar el collar; en caso que se encuentre muy apretado, retirar con

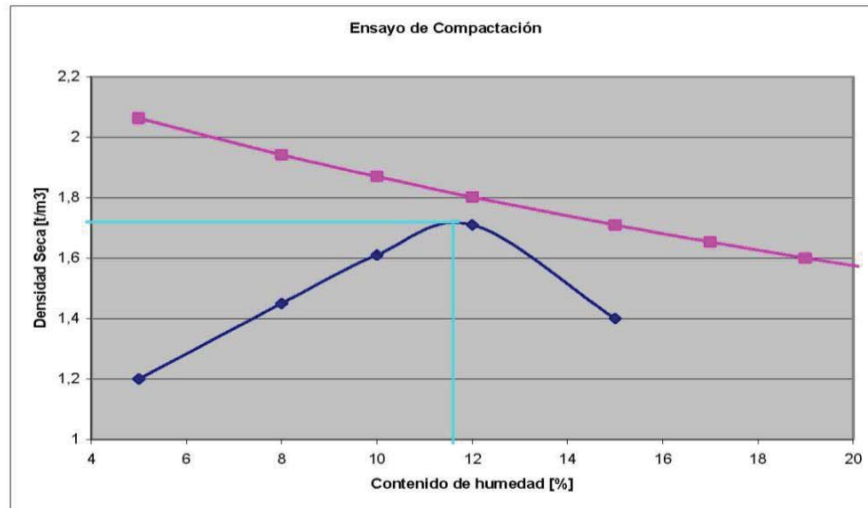
espátula el suelo que se encuentra adherido a los bordes por sobre el nivel del molde; finalmente enrasar perfectamente la superficie de suelo a nivel del plano superior del molde.

6. Pesar el molde con el suelo compactado y enrasado.
7. Extraer el suelo del molde y tomar una muestra representativa para determinar el contenido de humedad.
8. Desmenuzar el suelo compactado y mezclarlo con suelo aún no utilizado; agregar un 2% de agua (en relación a los 7 kg) y repetir los pasos 4 a 8; realizar la cantidad de ensayos que el instructor indique, suficientes para obtener una cantidad de puntos que permita determinar la humedad óptima y la densidad máxima.
9. Volver posteriormente al laboratorio para obtener los pesos secos de las muestras de humedad.

Cálculos:

Calcular el peso unitario seco y hacer un gráfico de γ_d versus contenido de humedad. Dibujar en este gráfico la curva de saturación; si no se conoce GS, suponer que la densidad saturada correspondiente a la humedad óptima es 5 % mayor que la densidad máxima seca; con este valor calcular el valor de GS; la curva de saturación en ningún caso debe intersectar la curva de compactación; en caso que esto suceda, incrementar en un 1 % adicional el valor de la densidad saturada hasta asegurar que la curva de saturación pase por sobre la de compactación.

Figura II.1.
Ensayo de compactación



Fuente: AASHTO, 1993.

2.2.3.5. Ensayo de la Relación de Soporte California (CBR):

Generalidades:

No basta con especificar el grado de compactación de un suelo. Dos suelos diferentes alcanzarán no solo densidades secas y humedades óptimas diferentes en el ensayo de compactación, sino que el material al estar constituido por partículas diferentes, tendrá un comportamiento en términos de ingeniería diferente. Por ello, se hace necesario un parámetro adicional que considere la capacidad de soporte del suelo en sí mismo para esas condiciones de compactación.

El ensayo de soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificar la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en construcción de carreteras.

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número asociado a la capacidad de soporte.

Definiciones:

El CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración dentro de la muestra de suelo compactada a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación, esto se puede expresar como:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \times 100 (\%)$$

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificada).

A menudo se compactan dos moldes de suelo: uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejarlo saturar por un periodo de 96 horas; este último se sobrecarga con un peso similar al del pavimento pero en ningún caso menor que 4.5 kg. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente. En ambos ensayos, se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utiliza durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

1. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.

2. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una velocidad de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Se toman lecturas de carga versus penetración cada 0.64 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual se toman lecturas con velocidades de penetración de 2.5 mm/min hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

Equipo:

1. Equipo de CBR:
2. Molde de compactación (con collar y base)
3. Disco espaciador
4. Martillo de compactación
5. Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión en mm
6. Pesos para sobrecarga
7. Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/min.

Procedimiento:

1. Preparar una muestra de suelo de grano fino (en cantidad suficiente para hacer 6 probetas) menor que el tamiz # 4, al contenido de humedad óptima del suelo determinado con el ensayo de Proctor Modificado.
2. Antes de compactar el suelo en los moldes, tomar una muestra representativa para determinar su contenido de humedad (por lo menos 100 g si el suelo es de grano fino).
3. Pesar los moldes sin su base ni el collar.

4. Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.
5. Fabricar 6 probetas de 5 capas cada una: 2 de 12 golpes por capa, 2 de 26 golpes por capa y 2 de 56 golpes por capa; dejar saturando una muestra de 12, de 26 y de 56 golpes por capa.
6. Para cada molde retirar la base, el collar y el disco espaciador, pesar el molde con el suelo compactado y determinara el peso unitario total del suelo.
7. Colocar un disco de papel filtro sobre la base, invertir la muestra y asegurar el molde a la base de forma que el suelo quede en contacto con el papel filtro. Para muestras no saturadas, llevar a cabo los pasos 8 a 10.
8. Colocar suficientes pesas ranuradas (no menos de 4.5 kg) sobre la muestra de suelo para simular la presión de sobrecarga requerida.
9. Colocar la muestra en la máquina de compresión y sentar el pistón sobre la superficie de suelo utilizando una carga inicial no mayor de 4.5 kg. Fijar el cero en los deformímetros de medida de carga y de penetración (o deformación).
10. Hacer lecturas de deformación o penetración y tomar las respectivas lecturas del deformímetro de carga. Extruir la muestra del molde y tomar dos muestras representativas adicionales para contenido de humedad.
11. Colocar la placa perforada con el vástago ajustable sobre el suelo compactado y aplicar suficientes pesas para obtener la sobrecarga deseada, cuidando que no sea inferior a 4.5 kg. Asegurarse de usar un disco de papel filtro entre la base

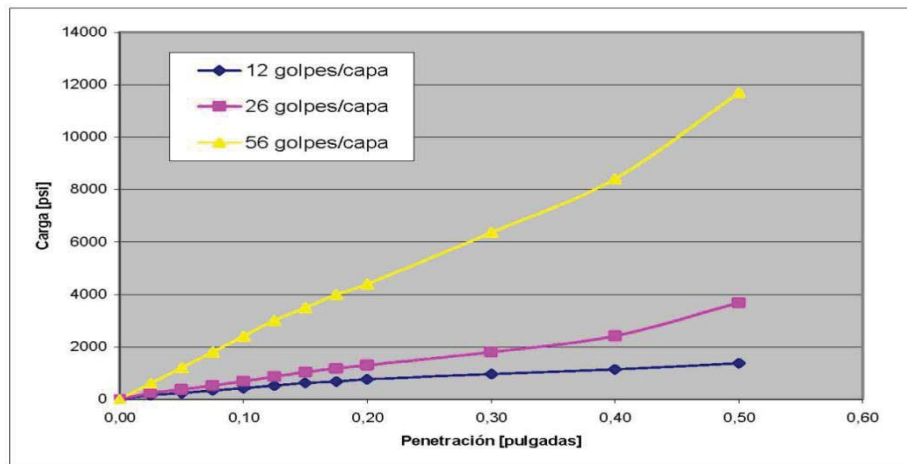
perforada del vástago y el suelo para evitar que el suelo se pegue a la base del vástago.

12. Sumergir el molde y las pesas en un recipiente de agua de forma que el agua tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra y ajustar el deformímetro de carátula (con lecturas al 0.01 mm) en su respectivo soporte; marcar sobre el molde los puntos donde se apoya el soporte de forma que pueda removerse y volver a colocarlo sobre el molde en el mismo sitio cuando se desee hacer una lectura.
13. Ajustar el cero del deformímetro de expansión y registrar el tiempo de comienzo del ensayo. Tomar las lecturas a 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido; el ensayo de expansión puede terminarse después de 48 horas si las lecturas en el deformímetro de expansión se mantienen constantes por lo menos durante 24 horas.
14. Al final de las 96 horas de inmersión, sacar la muestra y dejarla drenar por espacio de 15 min; secar completamente la superficie superior de la muestra con toallas de papel.
15. Pesar la muestra sumergida incluyendo el molde.
16. Realizar los pasos 8 al 10 para cada muestra.
17. Tomar muestras para contenido de humedad de las muestras saturadas de la siguiente forma:
 - dentro de los 3 cm superiores del suelo
 - dentro de los 3 cm inferiores del suelo
 - en el centro de la muestra de suelo.

Cálculos:

1. Dibujar una curva de resistencia a la penetración en libras por pulgada cuadrada (psi) o kPa versus la penetración en pulgadas o mm. En un mismo gráfico las muestras secas y en otro las muestras saturadas. Dibujar posteriormente estas curvas en un mismo gráfico comparando las resistencias secas y saturadas.
2. Calcular el CBR para una penetración de 0.01 pulgadas (carga patrón 3000 psi) para los 6 ensayos; dibujar en un mismo gráfico la curva CBR (%) versus densidad seca (kg/cm³), una curva para las muestras secas y otro para las muestras saturadas. Realizar otro gráfico con las mismas características para una penetración de 0.02 pulgadas (carga patrón 4500 psi).

Figura II.2.
Penetración CBR



Fuente: AASHTO, 1993.

2.2.4. CIMENTACIONES ESTRUCTURALES EN VIAS:

2.2.4.1. Descripción:

La tierra es un material utilizado por el hombre desde tiempos muy antiguos. Lo han empleado básicamente para la construcción de viviendas. En la actualidad, la mayor parte de las obras de ingeniería involucran realizar obras de tierras, como, por ejemplo, los terraplenes (cimentaciones para estructuras viales), los recubrimientos, rellenos, canales, taludes, cimentaciones y cualquier tipo de construcción civil.

- **Terraplén:** Son estructuras realizadas con materiales tipo suelo, con tamaños máximos generalmente inferiores a 100 – 150 mm y poseen bajo contenido en finos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).
- **Pedraplén:** Son estructuras construidas con fragmentos rocosos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).
- **Escollera:** Estructuras construidas con bloques de rocas que pueden alcanzar hasta 1 m³

2.2.4.2. Zonas distinguibles en un terraplén:

El Cimiento o Base:

Parte del terraplén situada por debajo de la superficie original del terreno, que ha sido variada por el retiro de material inadecuado. Esta capa es la más inferior de todas, por lo que está en contacto directo con el terreno natural. Sus características mecánicas no son muy elevadas, debido a que las tensiones en este punto son bajas y disipadas. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).

Núcleo:

Es la parte del relleno comprendida entre el cimiento y la corona. Conformar la parte central del terraplén, acaparando la mayor parte de su volumen y siendo el responsable directo de su geometría.

Corona:

Es la capa de terminación del terraplén, en la que se asentará el pavimento, por lo que estará sometida a grandes esfuerzos. Su espesor será de aproximadamente 50 cm, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente. Debe ser la capa más estable posible para el movimiento de la maquinaria sobre la misma.

Espaldón:

Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno como plantaciones, cubierta de tierra vegetal, protecciones antierosión, etc.

Funciones:

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- Recibir y resistir las cargas de tránsito que le son transmitidos por el pavimento.
- Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén

Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

2.2.4.3. Tipos de terraplenes:**Terraplenes de Poca Altura:**

Este tipo de terraplén está influenciado por el terreno natural, ya que está próximo a la coronación. Por ello es necesario realizar una

excavación para ubicar el cimiento; de este modo se dará una mayor uniformidad al terreno de apoyo. Es recomendable fijar una altura mínima para mejorar las condiciones del drenaje, aislando el agua freática existente en el terreno. En este tipo de obra se deben emplear suelos de mayor calidad, adecuados y seleccionados o estabilizarlos con cal o cemento para mejorar su resistencia.

Precarga del terreno:

Consiste en aplicar una carga sobre el terreno que constituye el terraplén de manera que asiente prematuramente. Posteriormente, se volverá a rellenar hasta alcanzar la cota de proyecto. Es efectiva para suelos finos. Existen diversas variantes de este sistema: relleno de tierras, empleo de grandes bloques de hormigón y escolleras, reducción del nivel freático.

Inyecciones:

Consiste en inyectar al suelo materiales más resistentes, para mejorar sus cualidades. Se usa en suelos granulares Gravas o arena de tamaño medio.

Terraplenes para Suelos Blandos:

Los suelos blandos, tales como arcillas, limos y turbas presentan un nefasto comportamiento como soporte de cualquier tipo de obra de tierra. Para este tipo de suelo es conveniente realizar un estudio geotécnico que caracterice el terreno, de manera que pueda estimarse la forma más precisa de estabilidad y los asientos admisibles del terraplén. Para este tipo de suelo se obra de dos posibles maneras: si la capa tiene poca potencia puede ser económicamente viable su eliminación empleando maquinaria de movimiento de tierras; sin embargo, un mayor espesor obligará actuar

directamente sobre el terreno existente para mejorar sus cualidades resistentes.

2.2.4.4. Construcción de terraplenes:

El proceso constructivo de un terraplén comprende diversas etapas y operaciones enfocadas a conseguir las características resistentes y estructurales exigidas a cada capa, y que aseguren un correcto funcionamiento del mismo. La calidad de un terraplén depende en gran medida de su correcta realización, es decir, de la apropiada colocación y posterior tratamiento de los diferentes materiales empleados en su construcción.

Para ello es importante tener en cuenta que una mala ejecución puede ocasionar problemas que afectaran a la funcionalidad de la carretera; así una humectación o compactación deficiente provocara asentamientos excesivos del terraplén ocasionando problemas de inestabilidad como colapso y desmoronamiento de la obra.

2.2.4.5. Control de calidad del terraplén:

Para asegurarse el correcto comportamiento del terraplén es necesario establecer una serie de procedimientos de control y comprobación de diversas características del suelo ya que a la larga van a determinar su comportamiento mecánico.

Control de Procedimiento:

Consiste en establecer la forma en que deberá efectuarse la ejecución del terraplén fijando, según las características del suelo disponible y el tipo de maquinaria a emplear, el espesor de la capa o el número de pasadas. El gran abanico climatológico existente en nuestro país dificulta la elaboración de métodos específicos de control suficientemente homogéneos.

Dificultades administrativas:

La escasa disponibilidad de personal especializado en realizar controles periódicos y detallados, unido al inconfundible carácter ibérico hacen más práctico el efectuar “ensayos sorpresas” durante la ejecución de la obra, manteniendo así un estado permanente de tensión y falsa vigilancia sobre el contratista.

Control de producto terminado:

Consiste en fijar las características que debe cumplir el material una vez colocado en obra; para ello se mide in situ diversas características y se comparan con valores obtenidos sobre muestras patrón en laboratorio. Para determinar la densidad en la obra se lleva a cabo los siguientes métodos:

1. **Método de la arena (NLT – 109):** Consiste en la excavación de un agujero en la zona a ensayar, determinando el peso del material extraído. Para determinar el volumen del agujero, éste se rellena de arena empleando un recipiente calibrado que permita conocer la cantidad introducida. Conocida la masa y el volumen puede determinarse la densidad del suelo.
2. **Método Radioactivo:** Se basa en la interacción de la radiación gamma con los electrones existentes en las partículas del suelo. El aparato nuclear un contador (Geiger) mide la diferencia entre la energía emitida y la recibida, que es proporcional a la densidad del suelo.
3. **Medición de la capacidad portante:** Consiste en determinar si el terreno es capaz de absorber y distribuir las tensiones transmitidas por el tráfico a través del firme. Existen diferentes métodos para controlar la capacidad portante del terreno:
 - Ensayo CBR: Es un ensayo normalizado de penetración (NLT – 112) que mide la presión necesaria para introducir un pisón a

una cierta profundidad, comparándola con la empleada en una muestra patrón.

- Placa de carga: Consiste esencialmente en la aplicación escalonada de una carga variable sobre una superficie determinada generalmente circular o cuadrada midiendo los asentamientos obtenidos a lo largo del tiempo
- Compactímetros: Este tipo de aparatos van incorporados a la llanta de los compactadores vibratorios; miden la densidad y el grado de compactación del terreno en función de la onda armónica generada sobre el propio terreno durante el proceso de vibración compactación.

CAPITULO III

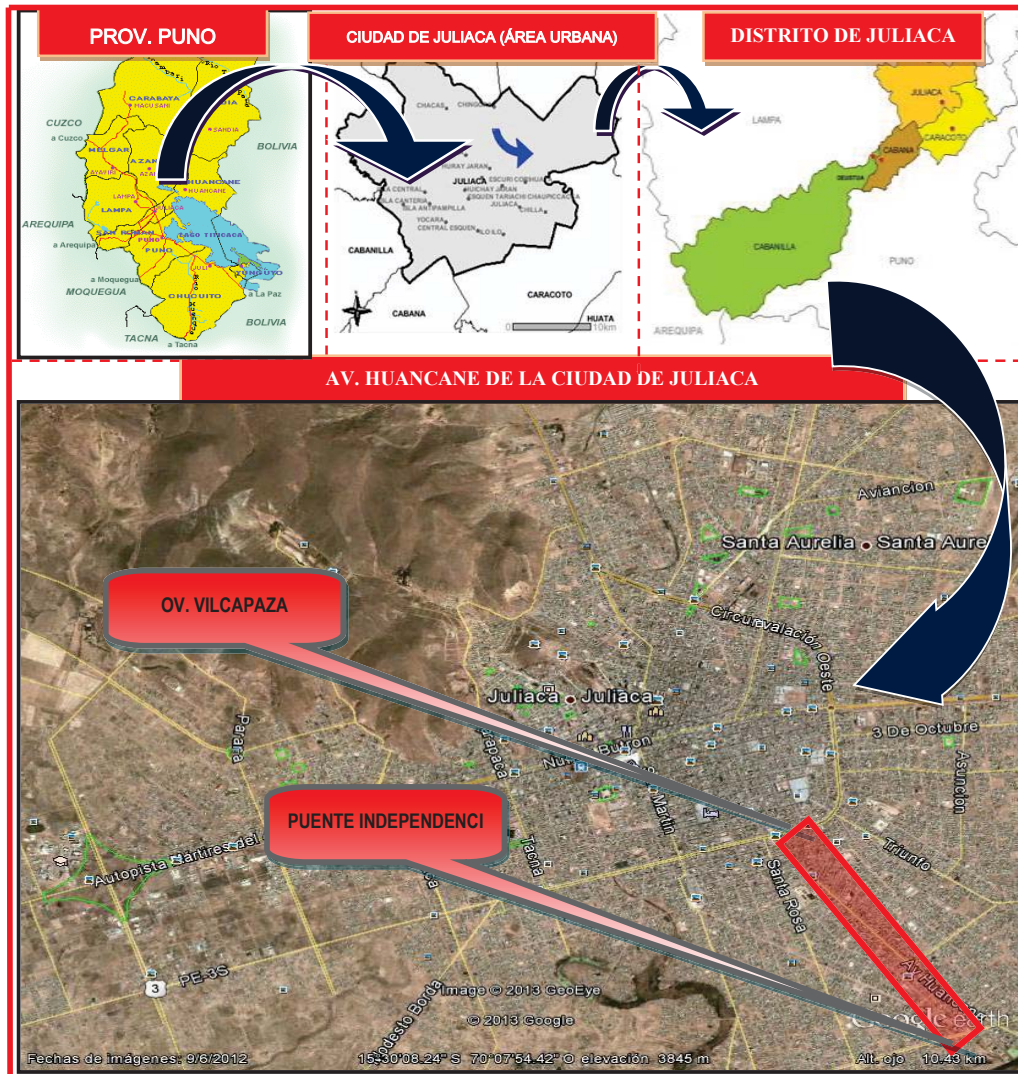
PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION

3.1. IDENTIFICACION DE SUELOS EN LA AVENIDA HUANCANE.

3.1.1. Ubicación:

La vía que se analizara en este trabajo de investigación se encuentra 3 km. aproximadamente de distancia del centro de la ciudad de Juliaca, El Terraplén se encuentra situado en la Avenida Huancané comprendido desde ovalo Vilcapaza hasta el puente Independencia.

Figura III.1.
Mapa de Ubicación Geográfica



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Aspectos generales de la situación actual:

El estado en el que se encuentra la vía correspondiente la Av. Huancané, genera malestar en la población de esta zona, puesto que la vía en mención presenta desniveles y hoyos que dificultan el tránsito normal de los vehículos; asimismo el deterioro de algunas veredas y la carencia de otras genera inseguridad en cuanto al tránsito Situación que empeora en épocas de lluvia ya que se forman charcos de agua y lodazales que dificultan aún más el traslado tanto vehicular no motorizados, vehículos menores motorizados y vehículos de alto tonelaje y/o pesados; en épocas de estiaje también se tienen efectos negativos, ya que considerando que la vía es de tierra y ante los vientos típicos de la ciudad de Juliaca se generan polvos en suspensión que ingresan a las viviendas, lo cual tiende a deteriorar la fachada de las mismas y demás enseres fijos de la vivienda que requieren de mayor frecuencia en cuanto a limpieza y por ende incremento en costos de conservación.

3.1.3. Características de la Situación Negativa:

La vía correspondiente a la Av. Huancané, la infraestructura vehicular llámese calzada se encuentra en mal estado por lo tanto genera malestar en la población, puesto que actualmente se encuentra en inadecuadas condiciones de transitabilidad tanto vehicular como la superficie de rodadura se convirtió ondulado, la cual a lo largo de su recorrido presenta desniveles y hoyos que dificulta el tránsito normal de los vehículos; en cuanto a las veredas, el 100% de las viviendas cuenta con veredas en buen estado.

Figura III.2.
Situación del pavimento de la vía



Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Descripción del terreno:

Emplazamiento:

El Terreno del presente estudio se encuentra situado sobre la Avenida Huancane en el tramo comprendido desde ovalo Vilcapaza hasta el Puente Independencia.

Para la Infraestructura Vial, en el emplazamiento del terreno en la actualidad se tiene una infraestructura vial que se encuentra sin mantenimiento y las Obras Complementarias sin ningún tipo de tratamiento.

Superficie:

El terreno en el cual se asienta la avenida Huancané tiene una superficie de 88,500.54 m²., incluyendo la infraestructura vial calzada para tránsito vehicular con un ancho promedio de margen derecho con 15.00 ml., en el margen izquierdo con 13.00 ml., y un recorrido de 3000 metros lineales en cada margen.

Forma:

El Terreno tiene forma irregular ya que en la progresiva 2+419.91 cuenta con un ancho de 12.61y 13.18 ml. para calzadas y 12.59 para berma central y en la progresiva 3+820 tiene un ancho de 13.37 ml. y 13.38 ml. para calzadas y 12.90 ml para berma central; longitudinalmente tiene una leve curvatura en el eje de vía.

Topografía:

El Terreno no presenta desniveles apreciables en la rasante de la vía,

3.1.5. Ensayos realizados en los suelos:**3.1.5.1. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NORMAS: (ASTM - D 2216), MTC E 108 – 2000:****Importancia:**

El presente modo operativo establece el método de ensayo para determinar la cantidad de agua existente en una cantidad de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre e higroscópica, La fase líquida no es una característica permanente de un suelo, es solo transitoria, según las condiciones del lugar donde se encuentre.

Objetivo:

Es determinar el contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo relacionado al peso de su fase sólida.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en el laboratorio, es por medio del secado en el horno donde la humedad

de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada más de suelo y el peso de las partículas sólidas. Para fines de nuestra carrera profesional cual es la Ingeniería Civil se considerará fase líquida a aquella que puede ser eliminada por evaporación a una temperatura de entre 105°C a 110°C, hasta que la muestra registre un peso constante.

La determinación del contenido de humedad de los suelos se ha convertido en un ensayo casi de rutina en el laboratorio, debido a que, conocerlo es necesario para todos los ensayos, en algunos casos para deducir las características del suelo seco sin necesidad de someter a secado a toda la muestra; en otros porque las propiedades físicas y mecánicas pueden depender de la cantidad de agua presente en el suelo.

En el caso de los suelos finos la importancia de conocer la humedad es mayor debido a que su comportamiento se ve más afectado por la presencia de Agua.

Equipos de laboratorio:

- **Horno de secado.** - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- **Balanzas.** - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.01 g para muestras de menos de 200 g de 0.1 g para muestras de más de 200 g.
- **Recipientes.** - Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

Utensilios para manipulación de recipientes:

Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.

Otros utensilios. - Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas. Cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

Principio del ensayo:

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

Espécimen de ensayo:

La determinación del contenido de humedad de los suelos se ha convertido en un ensayo casi de rutina en el laboratorio, debido a que, conocerlo es necesario para todos los ensayos, en algunos casos para deducir las características del suelo seco sin necesidad de someter a secado a toda la muestra; en otros porque las propiedades físicas y mecánicas pueden depender de la cantidad de agua presente en el suelo. En el caso de los suelos finos la importancia de conocer la humedad es mayor debido a que su comportamiento se ve más afectado por la presencia de Agua. Para los contenidos de humedad que se determinen en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad mínima de espécimen especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada. La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

Tabla III.1.
Peso de muestra y cantidad para contenidos de humedad

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g*
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 k g	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1½")	10 k g	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 k g	5 kg

Fuente: ASSTHO

Procedimiento de ensayo:

1. Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada) Es práctica común determinar su peso de los recipientes antes de realizar el ensayo.
2. Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado en anteriormente.
3. Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.
4. Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura.

5. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

6. Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Cálculos:

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje, calculándose los datos obtenidos después de realizado el ensayo con los siguiente.

- Peso de la tara o recipiente = Pt
- Peso de la tara más muestra de suelo húmedo = Pw
- Peso de la tara con la muestra de suelo seco. = Ps

Los cálculos son los siguientes:

1. Calculo de masa inicial de suelo húmedo

$$Msh = Pt - Pw$$

2. Calculo de masa de suelo seco

$$M_{ss} = P_s - P_t$$

3. Calculo de contenido de humedad w%

$$\% W = \left[\frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} \right] \times 100$$

3.1.5.1. ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO NORMAS: NTP 339.129 - ASTM D – 4318, AASHTO T – 89:

Se procedió a este ensayo con los suelos de la vía en estudio.

Importancia:

Se le acredita a TERZAGHI (1925) el reconocimiento del uso de los límites Líquido (LL) y Plástico (LP) como valores Índices de consistencia, Casagrande (1932) modificó el método original de Atterberg para determinar el (LL) mejorando la reproductibilidad del ensayo.

En mecánica de suelos y, en particular, en los estudios de materiales para construcción de terraplenes de una cortina, sub-base y base de pavimentos etc., las pruebas de Atterberg, conjuntamente con la determinación granulométrica, son básicas para juzgar la calidad del material que se pretende usar. En los materiales pétreos para carpetas, se aplican a fin de conocer el grado de plasticidad de los finos que sería un indicio de la presencia de arcilla. Esta arcilla puede ser perjudicial principalmente en mezclas asfálticas, dependiendo de su actividad y de la cantidad y forma en que se presente el material.

Definición:

El límite líquido (LL) es el contenido de agua (Expresado como porcentaje de peso seco) con el cual una masa de suelo colocada en

un recipiente en forma de cuchara (copa de Casagrande), se separa con un ranurador, se deja caer una altura de 1cm y se cierra deseando una ranura en 1cm, después de 25 golpes de la cuchara contra la base dura.

Casagrande (1932) concluyó que con cada golpe en un dispositivo estándar para límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo de aproximadamente 1 g/cm^2 ($\approx 0.1 \text{ kN/m}^2$). Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grano fino da el contenido de agua para el cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 2.5 g/cm^2 ($=2.5 \text{ kN/m}^2$)

El contenido de humedad que determina el límite líquido entre el plástico y semi-líquido, del estado líquido se llama el límite líquido (LP). Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido del agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido.

Objetivo:

Este método describe el procedimiento para determinar en el laboratorio el límite líquido de un suelo (L.L.) del mismo suelo.

Equipos de laboratorio:

1. Equipo de copa grande, dispositivo para determinar el límite líquido montado en un dispositivo de apoyo fijado a una base dura.
2. Acanalador, (Casagrande o ASTM) mango de calibre de 1cm para verificar la altura de caída de la cuchara.

3. Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100mm (3" – 4") de longitud por 20mm (3/4") de ancho.
4. Capsula de porcelana, de 115 mm (4 ½") de diámetro.
5. Balanza, con aproximación a 0.1g.
6. Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
7. Tamiz, de 0.5m m (N° 40).
8. Agua destilada. Agua destilada o desmineralizada.
9. Tarros o taras, Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

Preparación de la muestra:

Es preferible que, al preparar el suelo para la prueba, se encuentre con su contenido de agua natural. El secado del material puede alterar sensiblemente los valores de los límites. Durante la preparación del material y su ensaye, no se debe permitir que el contenido de agua del suelo baje más allá del límite plástico o de su contenido natural. Para poder establecer correlaciones válidas entre los resultados obtenidos, todos los límites y los contenidos de agua deben determinarse en el mismo material. No deben mezclarse suelos con diferentes características de plasticidad.

El procedimiento de separación de las partículas retenidas por la malla N° 40 se elige en función de su resistencia en estado seco. Se seca al horno una muestra húmeda de material y se presiona con los dedos. Si se desmorona fácilmente, el material es areno – limoso ó limoso y se usa el método de separación en estado seco. En cambio,

si la muestra ofrece una resistencia apreciable, el material es arcilloso y se requiere hacer la preparación con ayuda de agua.

Procedimiento de ensayo:

1. Del material que pasa la malla N° 4 (4.76 mm), se desmenuzan 150g. en un mortero, cuidando de no llegar a romper los granos.
2. Se procedió al tamizado y obtención del material que paso por la malla N° 40 cuyo material fue necesario para los dos ensayos, es decir, el del Limite Liquido y el Limite Plástico.
3. Se agrega agua y, con una espátula, se mezcla perfectamente, hasta obtener una pasta suave y espesa, con una consistencia correspondiente.
4. Se guarda la muestra humedecida en un frasco de vidrio hermético o en una bolsa de plástico durante 24 hrs. por lo menos, para que la humedad se distribuya uniformemente en el suelo.
5. En la copa del aparato se marca con lápiz una cruz en el centro de la huella que se forma al golpear contra la base.
6. Se da vuelta a la manija hasta que la copa se eleve a su mayor altura, utilizando una solera de un centímetro de espesor ó el calibrador de un centímetro adosado al ranurador, se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de un centímetro exactamente.
7. Los puntos de impacto, tanto en la base como en la copa, no deben estar gastados. Si la marca de la base tiene más de 0.1 mm de profundidad, ésta debe pulirse nuevamente.

8. Al dejar caer sobre la base un balín de acero de 2 gr. con diámetro de 8 mm (5/16 pulg), desde una altura de 25.4 cm (10 pulgadas). La altura de rebote debe estar comprendida entre 18.5 cm (7.3 pulg.) y 21 cm (8.3 pulg.).
9. Las dimensiones del ranurador deben verificarse; punta (2.0 ± 0.1 mm) y ancho de la parte superior de la ranura (11.0 ± 0.2 mm).
10. Se mezcla la muestra en una cápsula de porcelana hasta hacerla homogénea.
11. Con una espátula, se coloca en la copa entre 50 y 75g. de la muestra y se enrasa la superficie. La cantidad de material debe ser suficiente para que pueda labrarse la ranura completa en una longitud de 4 cm aproximadamente.
12. Se hace una ranura en el centro de la muestra, inclinando el ranurador de manera que permanezca perpendicular a la superficie interior de la copa. Para arcillas arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador plano no permite labrar la ranura a satisfacción. Para estos suelos, se corta la ranura con una espátula verificándose las dimensiones con el ranurador.
13. Después de asegurarse de que la copa y su base estén limpias y secas se da vuelta, uniformemente, a la manivela a razón de dos golpes por segundo hasta que la ranura se cierre en una longitud de 1.3 cm, aproximadamente.
14. Se toma aproximadamente unos 10 gr se anota su peso el N° de golpes.
15. Con la espátula, se vuelve a mezclar el material y se repiten las operaciones indicadas en los puntos 20, 21 y 22 hasta que se

obtengan dos determinaciones congruentes con diferencia máxima de cinco golpes. Se anota el resultado o el promedio de los dos últimos.

16. En un recipiente, se ponen 10 g. aproximadamente, de la porción de la muestra que está próxima a la ranura.

Cálculos:

El resultado del ensayo se expresa en %, calculándose los datos obtenidos después de realizado el ensayo con los siguiente.

- Peso de la tara o recipiente = Pt
- Peso de la tara más muestra de suelo húmedo = Pw
- Peso de la tara con la muestra de suelo seco. = Ps

Los cálculos son los siguientes:

Calculo de masa inicial de suelo húmedo

$$Msh = Pt - Pw$$

Calculo de masa de suelo seco

$$Mss = Ps - Pt$$

Calculo de contenido de humedad w%

$$\% W = \left[\frac{Msh - Mss}{Mss} \right] \times 100$$

3.1.5.2. ENSAYO LIMITE PLASTICO NORMAS: NTP 339.129 ASTM D - 4318, AASHTO T -90:

Se procedió a este ensayo con los suelos de la base y sub base y terreno de fundación del pavimento existente en la vía.

Importancia:

Desde tiempos remotos, se sabe que algunos suelos, de trabajo, variando la humedad, hasta alcanzar un estado de coherencia de estado característica llamada de consistencia plástica. Se sabe que la forma laminar de las partículas es responsable de las características de plasticidad y compresibilidad de los suelos finos. A su vez, la forma determinada en última instancia, estas partículas de arcilla por el mineral, es decir, depende de la estructura cristalina de cada mineral de La plasticidad se puede definir en Mecánica del Suelo, con la propiedad que tiene un suelo para intentar rápida deformación, que se produce sin cambio apreciable de volumen y la desorganización. De propiedades que pueden expresarse por sí mismos, entender que la forma característica de las partículas finas que permite deslizarse hacia abajo, un puesto en el otro, siempre que exista suficiente cantidad de agua para actuar como lubricante. En resumen, podemos decir que la plasticidad se asocia con suelos delgados, y depende de los minerales de arcilla-, y la cantidad de agua en el suelo.

Definición:

La plasticidad, por lo tanto, es un estado de situación de la coherencia, que depende de la cantidad de agua presente en el suelo. El contenido de humedad que determina el límite entre el plástico y semi-sólido, del estado sólido se llama el límite de la plasticidad (LP).

Objetivo:

Este método describe el procedimiento para determinar en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro,

rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. Esta prueba se realiza simultáneamente después de ensayo de límite líquido.

Equipos de laboratorio:

1. Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
2. Recipiente para Almacenaje, de 115 mm (4 ½") de diámetro.
3. Balanza, con aproximación a 0.1 g.
4. Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
5. Tamiz, de 0.5m m (N° 40).
6. Agua destilada. Agua destilada o desmineralizada.
7. Tarros o taras, Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
8. Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

Preparación de la muestra:

De una muestra se toman aproximadamente 20g de la muestra que pase por el tamiz de 0.5 mm (N° 40), de la misma manera al preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la

masa de suelo. Se toma una porción de 1,5gr a 2,0gr de dicha esfera como muestra para el ensayo y se satura por 24 horas.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada. La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla.

Procedimiento de ensayo:

Se toma un centímetro cúbico de la muestra, aproximadamente. Si el material tiene un contenido de agua inicial excesivo, se rueda repetidamente sobre una placa de cerámica micro porosa en atmósfera seca hasta que tenga un contenido de agua próximo al límite plástico.

1. Se rueda la pequeña muestra sobre una placa de vidrio ligeramente despulido, bajo la palma de la mano o la base del pulgar hasta formar un cilindro de 3.2 mm de diámetro y de 13 cm de largo aproximadamente, el diámetro del cilindro puede verificarse con un alambre de 3.2 mm (1/8 pulg) de diámetro.
2. Se repite la operación tantas veces como sea necesario para que, al perder agua por evaporación, y llegar al diámetro de 3.2 mm, el cilindro se agriete y se rompa en segmentos de 1 a 3 cm de largo, aproximadamente. En el caso de suelos orgánicos, el cilindro debe rodarse con cuidado para que no se rompa prematuramente. Para suelos muy plásticos, deberá ejercerse una presión considerable para reducir el diámetro del cilindro a 3.2 mm. Con frecuencia, estos suelos no se agrietan en el límite plástico.
3. Se pesa en la balanza de 0.001 g y se registra este valor en la columna cápsula + muestra húmeda.

4. Se repiten los pasos 1 a 4, con otra porción de la muestra, para comprobar la determinación anterior.
5. Las muestras se introducen en el horno durante 24 hrs. Después se dejan enfriar en un desecador y se pesan. Se anotan los valores en la columna cápsula + suelo seco.

Cálculos:

El resultado del ensayo se expresa en, calculándose los datos obtenidos después de realizado el ensayo con los siguiente. El resultado del ensayo se expresa en, calculándose los datos obtenidos después de realizado el ensayo con los siguiente.

- Peso de la tara o recipiente = Pt
- Peso de la tara más muestra de suelo húmedo = Pw
- Peso de la tara con la muestra de suelo seco. = Ps

Los cálculos son los siguientes:

Calculo de masa inicial de suelo húmedo

$$Msh = Pt - Pw$$

Calculo de masa de suelo seco

$$Mss = Ps - Pt$$

Calculo de contenido de humedad w%

$$\% W = \left[\frac{Msh - Mss}{Mss} \right] \times 100$$

3.1.5.3 ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO NORMAS: (NTP 339.128 – ASTM D 422), AASHTO T 88:

Se procedió a este ensayo con los suelos de la sub base, base y terreno de fundación.

Importancia:

El estudio y análisis de la distribución de los granos en sus diferentes tamaños de una masa de suelo se conoce como granulometría del suelo, sus características y parámetros son índices indicadores que se usan para la clasificación de acuerdo a un sistema o al interés de la mecánica de suelos y sus aplicaciones en ingeniería Civil, Minería, etc. El ensayo es importante ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en base o sub bases de carreteras, presas de tierras o diques, drenajes, filtros, etc., depende de este análisis, es decir, la determinación del tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo en proporciones relativas que sean, que está representada, gráficamente, la curva de tamaño.

Así es posible también su clasificación mediante los sistemas de clasificación como AASHTO (clasificación de suelos y vías de transporte o SUCS. (Sistema de clasificación del ASTM)

Objetivo:

El objetivo es determinar el tamaño relativo de los granos se denomina textura y su medición es el tamaño mediante el uso de tamices normalizados puestos en orden decreciente. Se describen el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 0.075 mm (N° 200).

Para suelos con partículas que pasan 0.075 mm (N°200) se determinara por el método del hidrómetro basado en la ley de Stokes. Graficar la curva granulométrica y obtener constantes como el diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad (Cu) coeficiente

Curvatura (Cc). La gradación puede calcularse de la curva de tamaños usando el coeficiente de uniformidad de finido como:

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

El coeficiente de concavidad ó coeficiente de curvatura definido por:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Un valor alto de Cu indica que los diámetros D60y D10 tiene un gran tamaño de partículas. Un valor aproximado a 0.1 indica una variación lineal de la curva granulométrica entre D10y D60.por lo tanto se puede decir:

- Si Cc está cerca 1.0, el suelo es bien graduado.
- Si Cc es menor o mayor que 1 es suelo es pobremente graduado.

El coeficiente de curvatura y coeficiente de uniformidad no tienen significación cuando menos del 10 % del suelo pasas por el tamiz N° 200.por lo tanto los índices de uniformidad no indica tamaños semejantes, sino todo lo contrario; es decir es un índice de des uniformidad.

Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

Balanzas. - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.1 g para muestras de menos de 500 g de 0. 1 g para muestras de más de 5000 g.

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico

Utensilios para manipulación de recipientes.

Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.

Cepillo. - Se requiere el empleo para limpiar las mallas de los tamices de 3" hasta N°20.

Brocha. - Se requiere el empleo para limpiar las mallas de los tamices de N° 20 hasta N°200.

Principio del ensayo:

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado. Obtener una muestra representativa reducir los terrones de la muestra a tamaños de partículas elemental es cernir la muestra del suelo resultante a través de una serie de mallas y pesar las cantidades retenidas en cada malla. Una norma práctica es disponer de 5 a 8 mallas que mantengan aberturas de aproximadamente la mitad del tamiz superior calcular el porcentaje que pasa cada malla y trazar la curva de porcentaje que pasa contra el diámetro del grano.

En el eje de ordenadas el % que pasa y en el de las abscisas el tamaño de las mallas y/o diámetros de las partículas. Normalmente este es un trazo logarítmico (usando papel semilogarítmico). Este ensayo caracteriza sus propiedades de acuerdo a la proporción de sus tamaños, es determinante en la clasificación de los suelos.

Espécimen de ensayo:

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. La muestra de Suelo seca al medio ambiente previamente separado en cuatro partes gradualmente iguales. La cuarta parte de la muestra de suelo es pesada en la balanza de precisión a un peso conocido.

Procedimiento de ensayo:**Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (n° 4):**

1. Prepárese la serie tamices las que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente de: 50 mm (2"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (4"), el juego de tamices deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la parte inferior.
2. Los que son necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.
3. A continuación, se deposita el material en el tamiz superior del juego de tamices de acuerdo lo indicado en anteriormente.
4. En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla.
5. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente.

6. Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

Análisis por medio de tamizado de la fracción que pasa en el tamiz de 4,760 mm (n° 4):

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) se hará por tamizado en una serie tamices las que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente de: 2 mm (N° 10), 0.42 mm (N° 40), 0.075 mm (N° 200), el juego de tamices deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la parte inferior. Según las características de la muestra y según la información requerida.

Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco. Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda

Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver granulometría por sedimentación,

Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado en el tamiz 0.075 mm (N° 200):

1. Se separan mediante cuarteo, 500 g para suelos arenosos y 250 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.1 g.

2. Se pesa una porción de 500 a 250 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
3. Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
4. Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
5. Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$) y se pesa.
6. Luego se Pesó el material Retenido en Cada una de las Mallas tanto de la muestra Gruesa como de la Fina, para dar fin al ensayo físico para realizar los cálculos en gabinete.

Cálculos:

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje, los valores obtenidos para la fracción retenida en el tamiz de N° 4 (abertura 4.760 mm) después de realizado el ensayo con los siguientes:

Los cálculos son los siguientes:

Se determinan los porcentajes en peso del material retenido en los diferentes tamices empleados (el porcentaje es con respecto al peso total de la muestra seca), con la siguiente fórmula:

$$\%ret.Parcial = \frac{Peso\ retenido}{Peso\ Totaldemuestra} \times 100$$

Se determina el Porcentaje retenido acumulado en los diferentes tamices empleados (el porcentaje es la sumatoria al % ret.par.) con la siguiente fórmula:

$$\%ret. Acum. = sumatoria(\%ret. Par.)$$

Se determina el Porcentaje que pasa en los diferentes tamices empleados (el porcentaje es la resta 100 - % Ret.Acum.) Con la siguiente fórmula:

$$\% Pasa = 100 - \%Ret. Acum.$$

3.1.5.4. ENSAYO DE PROCTOR DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA DE COMPACTACIÓN NORMAS: (NTP 339.141 - ASTM - D 1557):

Importancia:

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire. La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso volumétrico seco máximo del suelo que para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada que se conoce como humedad óptima.

Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería

requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

Objetivo:

La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. por lo general las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortina de presa de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, muelles, pavimentos, etc. algunas veces se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de cimentaciones sobre arena suelta.

Definición:

Este ensayo tiene por finalidad determinar la relación humedad - densidad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante un pistón de masa normalizada, en caída libre con una energía específica de compactación. El ensayo consiste en compactar en un molde de volumen conocido muestras de un mismo suelo, pero con distintas humedades y con la misma energía de compactación.

Se registran las densidades secas y el contenido de humedad de cada molde, graficando los resultados, donde el punto más alto de la curva representa la máxima densidad seca y la proyección la abscisa es el óptimo contenido de humedad.

Equipos de laboratorio:

1. **Molde de 4 pulgadas.**-Un molde que tenga en promedio $4,000 \pm 0,016$ pulg ($101,6 \pm 0,4$ mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,0333 \pm 0,0005$ pie³ (944 ± 14 cm³).

2. **Molde de 6 pulgadas.**- Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ ($2\ 124 \pm 25$ cm³).
3. **Collarín.** - El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.
4. **Pisón ó Martillo.** - Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $18 \pm 0,05$ pulg ($457,2 \pm 1,6$ mm) de la superficie de espécimen.
5. **Probetas graduadas.**- probeta de 500ml de capacidad graduada cada 5cc y otra de 250ml, graduada cada cc.
6. **Tamices ó Mallas .**- De $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm), $\frac{3}{8}$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm),
7. **Horno de secado.** - Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
8. **Balanzas.** - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.1 g para muestras de menos de 200 g de 0. 1 g para muestras de más de 200 g.
9. **Recipientes.**- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.
10. **Regla.**- Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,005$ pulg

($\pm 0,1$ mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 1/8 pulg (3 mm).

Principio del ensayo:

El ensayo consiste en compactar en un molde de volumen conocido muestras de un mismo suelo, pero con distintas humedades y con la misma energía de compactación. Se registran las densidades secas y el contenido de humedad de cada molde, graficando los resultados, donde el punto más alto de la curva representa la máxima densidad seca y la proyección la abscisa es el óptimo contenido de humedad.

Elección del método:

El total de la muestra recibida desde el terreno, se seca al aire o en horno a una temperatura inferior a 60°C hasta que se vuelve desmenuzable, disgregando los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.

Cálculos:

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje, calculándose los datos obtenidos después de realizado el ensayo con los siguientes.

- Peso de la tara o recipiente = p_t
- Peso de la tara más muestra de suelo húmedo = p_w
- Peso de la tara con la muestra de suelo seco. = p_s
- Peso del molde con la muestra de suelo húmedo. = p_m

Los cálculos son los siguientes:

Calculo de masa inicial de suelo húmedo

$$M_{sh} = P_t - P_w$$

Calculo de masa de suelo seco

$$M_{ss} = P_s - P_t$$

Calculo de contenido de humedad w%

$$\% W = \left[\frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} \right] \times 10$$

Calculo de Densidad humedad γ_h

$$\gamma_h = \frac{W_{mh}}{V_m}$$

Calculo de Densidad Seca γ_d

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

Calculo de grafico se toma dos reglones de la siguiente forma:

- En el eje de las abscisas se indican los contenidos de agua (W%).
- En el eje de las ordenadas los pesos volumétricos (γ_d)

En el grafico se marcan cada punto correspondiente a cada determinación y se traza una curva del tipo parabólica por ellos. En el punto más alto de la parábola, con la horizontal se obtiene la máxima densidad seca (γ_d max). y con la vertical se obtiene el contenido de humedad optimo (CHO).

Incluir en el grafico la curva paramétrica de saturación de cero vacíos correspondiente al 100% de saturación para la densidad de las partículas sólidas del suelo ensayado, gravedad específica (Gs).

Calculo de la curva de relación de cero vacíos y d

$$\gamma_d = \frac{G_s \times Y_m}{1 + W\% \times G_s}$$

3.1.5.5. ENSAYO DE CBR CALIFORNIA BEARING RATIO NORMAS: ASTM D-1883 y AASHTO T- 193:

Este ensayo se realizó para los suelos de la forma tradicional en el laboratorio donde se procedió sin sumergir la muestra así se podrá manifestar dichas características.

Importancia:

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). De suelos y agregados compactados en laboratorio con una humedad optima y suelos de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estados de california (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad de suelo para sub rasante, sub-base y base de pavimentos.

Objetivo:

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.

El porcentaje de CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad.

Equipos de laboratorio:

1. Prensa. - aparato similar para medir la expansión compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor igual a 1.6mm.
2. Molde, de metal, cilíndrico, de $152,4\text{mm} \pm 0.66\text{ mm}$ ($6 \pm 0.026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0.46\text{ mm}$ ($7 \pm 0.018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm ($2.0''$) de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm ($3/8''$) de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de $1,6\text{ mm}$ ($28\ 1/16''$) las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro.
3. Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm ($5\ 15/16''$) de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$ ($2,416 \pm 0,005''$) de espesor para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
4. Pistón de penetración. - metálico de sección transversal circular, de $49.63 \pm 0,13\text{ mm}$ ($1,954 \pm 0,005''$) de diámetro, área de 19.35 cm^2 (3 pulg^2) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm ($4''$).
5. Diales. - Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm ($1''$) y divisiones lecturas en 0.025 mm ($0.001''$), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
6. Papel filtro.- del diámetro del molde.
7. Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1g y 0.1g , respectivamente.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para poder hacer un análisis más detallado y acertado de los resultados obtenidos en laboratorio en este trabajo, se sacó los resultados a continuación se muestran de acuerdo a los objetivos propuestos en este trabajo de investigación.

4.1. Toma de muestras representativas:

Para determinar las propiedades mecánicas del suelo se han realizado calicatas en diferentes puntos de la vía (Av. Huancané, las calicatas se han realizado en el margen izquierdo de la avenida Huancané, las calicatas se han realizado en las progresivas: 0+040, 0+180, 0+360, 0+600, 0+950, 1+120, 1+400, en el cuadro siguiente se muestra los detalles y los puntos de toma de muestras de acuerdo a protocolos de la norma técnica Peruana y demás normas estandarizadas para el presente estudio, el perfil estratigráfico de las diferentes calicatas tomadas se muestran en los anexos.

Figura IV.1.
Calicatas realizadas en campo – toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.1.
Características de la toma de muestras en la vía

UBICACIÓN	PROGRESIVA	CALICATA N°	ESTRATO	PROF. (m)	ESPESOR (m)
AV. CIRCUNVALACIÓN - CARRIL IZQUIERDO	0+040	C-1	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.70	0.30
			E-3	1.60	0.90
	0+180	C-2	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.70	0.30
			E-3	1.70	1.00
	0+360	C-3	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.80	0.40
			E-3	2.00	1.20
	0+600	C-4	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.70	0.30
			E-3	1.80	1.10
	0+950	C-5	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.70	0.30
			E-3	1.50	0.80
	1+120	C-6	E-1	0.40	0.40
			E-2	0.80	0.40
			E-3	1.60	0.80
1+400	C-7	E-1	0.40	0.40	
		E-2	0.80	0.40	
		E-3	1.60	0.80	

Fuente: Elaboración propia

4.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA BASE Y SUB BASE DEL TERRAPLÉN:

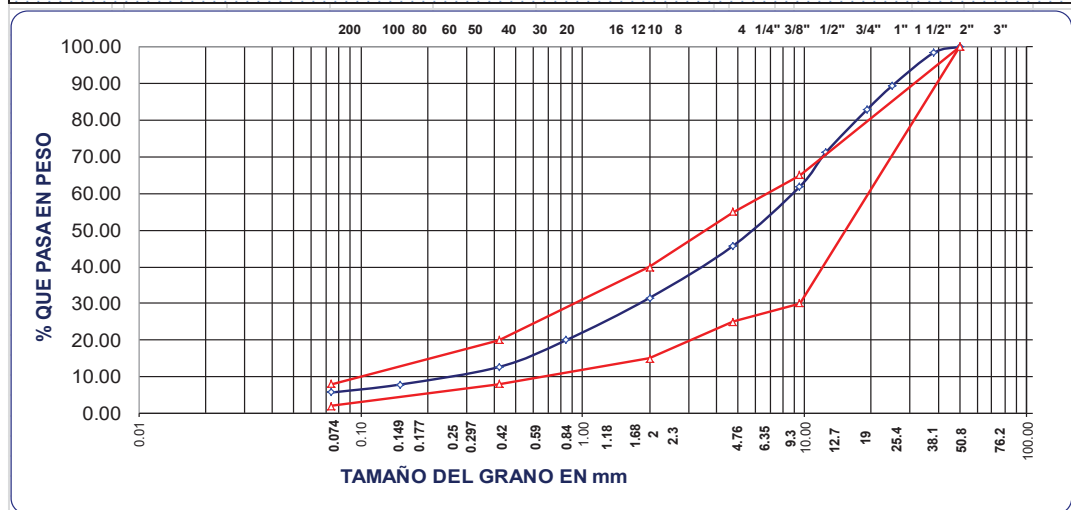
Calicata 1. Análisis granulométrico por tamizado

Para el ensayo se ha tenido una muestra de 6851 gramos, la fracción menor fue de 780 gramos, la grava representa el 54.30 %, la arena representa el 39.96 %, los finos representan 5.74 %, y W natural representa el 8.34 %, a continuación, se muestra los datos en la siguiente tabla.

Tabla IV.2.
Análisis Granulométrico por tamizado

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. A	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial : 6851 Grs
2 1/2"	63.000						Fracción < N°4 : 780 Grs
2"	50.000				100.00	100 - 100	Grava : 54.30 %
1 1/2"	38.100	114.00	1.70	1.70	98.30		Arena : 39.96 %
1"	25.000	604.00	8.80	10.50	89.50		Fino : 5.74 %
3/4"	19.100	458.00	6.70	17.20	82.80		W natural : 8.34 %
1/2"	12.500	792.00	11.60	28.80	71.20		
3/8"	9.500	641.00	9.40	38.20	61.80	30 - 65	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.760	1,106.00	16.10	54.30	45.70	25 - 55	Límite Líquido : 24.75 %
No.10	2.000	242.00	14.18	68.48	31.52	15 - 40	Límite Plástico : 19.80 %
No.20	0.840	197.00	11.54	80.02	19.98		Índice Plástico : 4.94 %
No.40	0.420	124.00	7.27	87.29	12.71	8 - 20	
No.100	0.150	82.00	4.80	92.09	7.91		CLASIFICACIÓN DEL SUELO
No.200	0.074	37.00	2.17	94.26	5.74	2 - 8	S.U.C.S. : GP-GC
<No.200		98.00	5.74	100.0			A.A.S.H.T.O. : A-1-a (0)

REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Contenido de humedad:

La humedad promedio en la calicata 1 es de 8.34 tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV.3.
Contenido de humedad

METODO SECADO AL HORNO					
RECIPIENTE N°			A	B	C
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE			354.00	476.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE			327.00	439.00	
PESO RECIPIENTE			0.00	0.00	
PESO DE AGUA			27.00	37.00	
PESO DE SUELO SECO			327.00	439.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			8.26	8.43	
HUMEDAD PROMEDIO (%)				8.34	

Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Límites de Consistencia:

Para la calicata 1 el LL es 24.75, Limite liquido 19.80 % y Limite plástico es 4.94 %

Tabla IV.4.
Límites de Consistencia

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
01. No.DE GOLPES	34	25	16				
02. TARRO No.	12	7	4		9T	11T	
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	30.14	30.32	29.69		11.92	10.66	
04. SUELO SECO * TARRO g	26.51	26.55	25.77		10.65	9.59	
05. PESO DEL AGUA g	3.63	3.77	3.92		1.27	1.07	
06. PESO DEL TARRO g	11.11	11.16	11.13		4.21	4.21	
07. PESO DEL SUELO SECO g	15.40	15.39	14.64		6.44	5.38	
08. HUMEDAD %	23.57	24.50	26.78		19.72	19.89	
L.L.=	24.75 %	L.P.=	19.80 %		I.P.=	4.94 %	

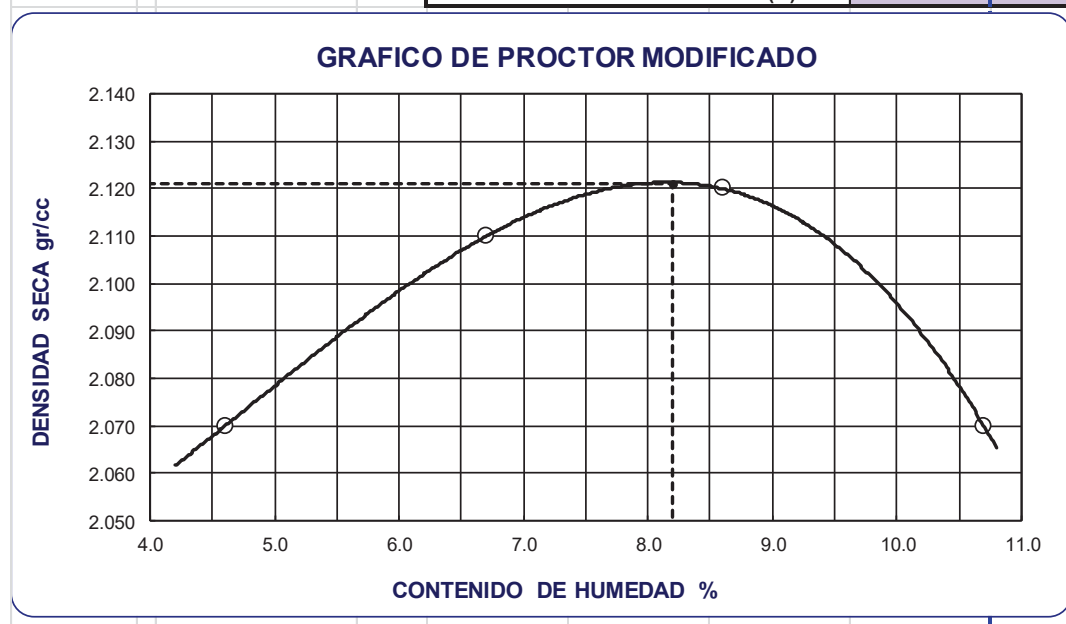
Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Proctor modificado:

Para realizar este ensayo se ha realizado 4 veces, en número de capas de 5 y con golpes de pisón primero 56, segundo a 56, tercero a 56 y cuarto a 56, en la siguiente figurase muestra los resultados de la calicata 1

Tabla IV.5.
Proctor modificado

ENSAYO N°		1	2	3	4
NÚMERO DE CAPAS		5	5	5	5
GOLPES DE PISÓN POR CAPA		56	56	56	56
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	Grs	10,520	10,711	10,824	10,790
PESO MOLDE	Grs	5,980	5,980	5,980	5,980
PESO SUELO COMPACTADO	Grs	4,540	4,731	4,844	4,810
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³	2,104.9	2,104.9	2,104.9	2,104.9
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2.16	2.25	2.30	2.29
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°		Tz-01	Tz-02	Tz-03	Tz-03
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	Grs	432.00	288.00	379.00	353.00
SUELO SECO + RECIPIENTE	Grs	413.00	270.00	349.00	319.00
PESO RECIPIENTE	Grs	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA	Grs	19.00	18.00	30.00	34.00
PESO DE SUELO SECO	Grs	413.00	270.00	349.00	319.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.60	6.70	8.60	10.70
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	2.07	2.11	2.12	2.07
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)					2.121
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (%)					8.20



Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Valor relativo de soporte CBR:

Para este análisis se ha realizado en 03 moldes, en capas de 5, los golpes efectuados en cada molde son las siguientes, en el primero 56 golpes, en el segundo 25 golpes y en el tercero 12 golpes, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IV.6.
Valor relativo de soporte CBR

Molde N°		1		2		3	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11885		11821		11610	
Peso del molde	gr.	7073		7185		7213	
Peso del suelo húmedo	gr.	4812		4636		4397	
Volúmen del molde	cc.	2105		2105		2105	
Densidad Humeda	gr./cc	2.29		2.2		2.09	
Humedad	%	8.20		8.30		8.10	
Densidad seca	gr./cc	2.12		2.03		1.93	
Tarro N°		1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	356		378		428	
Tarro suelo seco	gr.	329		349		396	
Agua	gr.	27		29		32	
Peso del Tarro	gr.	0		0		0	
Peso del suelo seco	gr.	329		349		396	
Humedad	%	8.2		8.3		8.1	
Promedio de la humedad	%						

ENSAYO EXPANSION

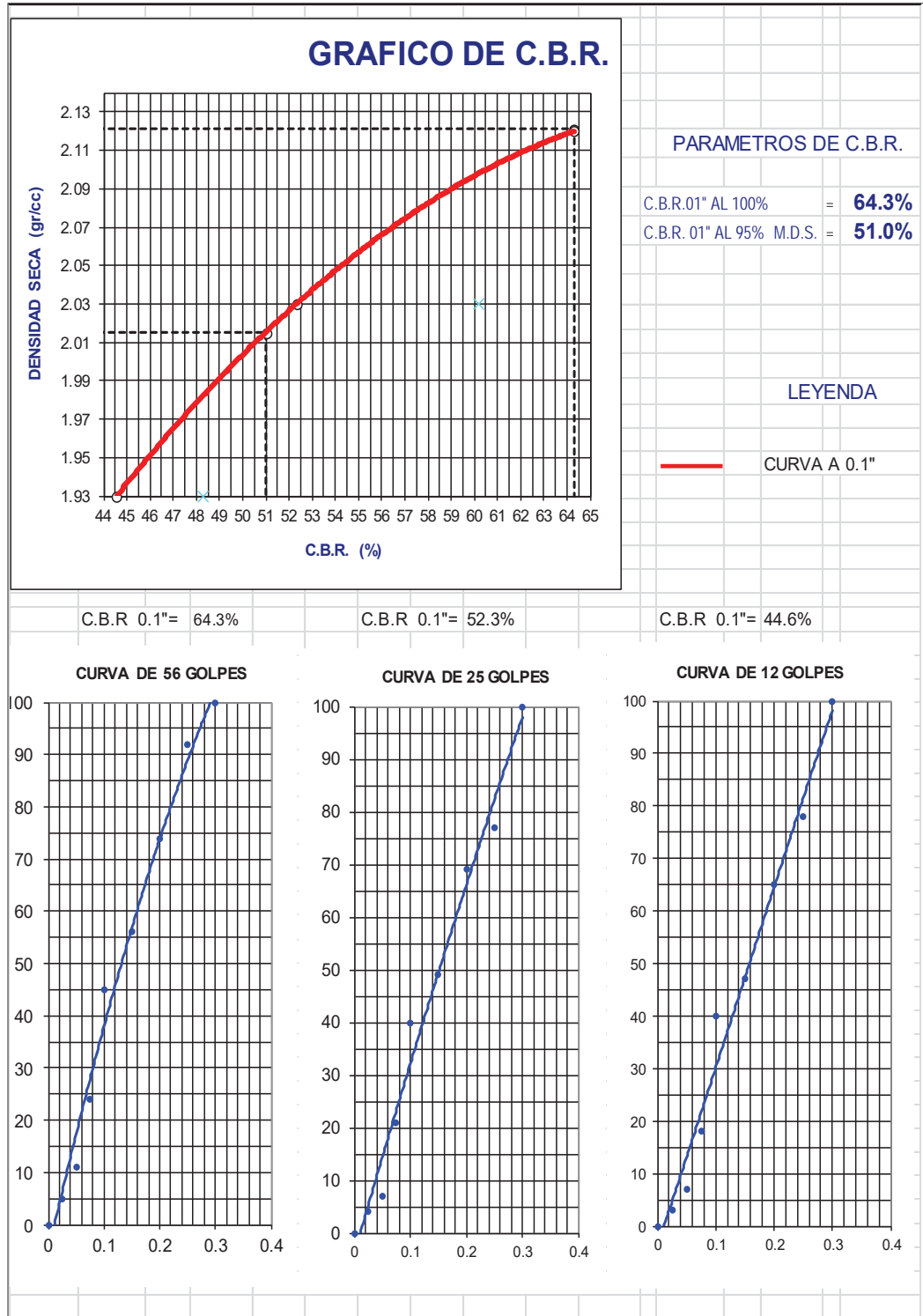
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²
0.30	0.600	0.25	15	194	65	10	144	48	7	114	38
1.00	1.300	0.50	44	485	162	25	294	98	19	234	78
1.30	1.900	0.075	98	1026	342	79	836	279	56	605	202
2.00	2.500	0.100	187	1919	640	154	1588	529	130	1347	449
3.00	3.800	0.150	234	2391	797	188	1929	643	154	1588	529
4.00	5.000	0.200	312	3173	1058	266	2712	904	211	2160	720
5.00	6.000	0.250	387	3925	1308	298	3033	1011	254	2591	864
6.00	7.500	0.300	423	4286	1429	387	3925	1308	329	3343	1114
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.2.
Grafico Valor relativo de soporte CBR



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.7.
Resumen de los valores en base y sub base

CALICATA N°	ESTRATO	PROF. (m)	ESPESOR (m)	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLAST. (%)	CLASIFICACIÓN		PROCTOR		C.B.R.	
							SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	O.C.H. %	95%	100%
C-1	E-1	0.40	0.40	8.34	24.75	4.94	GP-GC	A-1-a (0)	2.12	8.20	51.00	64.30
C-2	E-1	0.40	0.40	8.39	24.02	4.79	GP-GC	A-1-a(0)	2.12	8.20	50.0	59.0
C-4	E-1	0.40	0.40	8.33	23.98	4.99	GP-GC	A-1-a (0)	2.13	7.80	61.20	67.30

Fuente: Elaboración propia

Los trabajos de campo se realizaron a cielo abierto. Debido a la uniformidad de los materiales se excavaron para el análisis de la base y sub base (03) calicatas de 0.40 m. de profundidad. La finalidad de estas labores fue de investigar el comportamiento de dicha estructura.

La clasificación de los suelos según el método AASHTO muestra que el resultado obtenido a través de ensayos corresponde a un suelo bueno, que comprende materiales formados predominantemente por piedra o grava, y con ligante mal graduado. La clasificación de los suelos según el método S.U.C.S. corresponde a un suelo GP Menos de 5% pasa la malla N° 200; y GC Más del 12% pasa malla N° 200, Se puede deducir que el suelo en la sub base y base son gravas mal graduadas por lo que se debe mejorar este suelo.

Comportamiento estructural del pavimento:

Estos coeficientes son dependientes del tipo de capa estructural y de sus características mecánicas:

El material de base y sub base se compone por mezcla de suelos de la vía en estudio, el cual fue evaluado llegando a los resultados del CBR en las tres muestras que tiene los siguientes valores, 64.30, 59.0 y 67.30%. Es necesario destacar que el valor considerado está por debajo del mínimo establecido por el MTC en las DG-2013 (80%) para vías de tránsito.

4.3. Análisis de las propiedades mecánicas en el terreno de fundación:

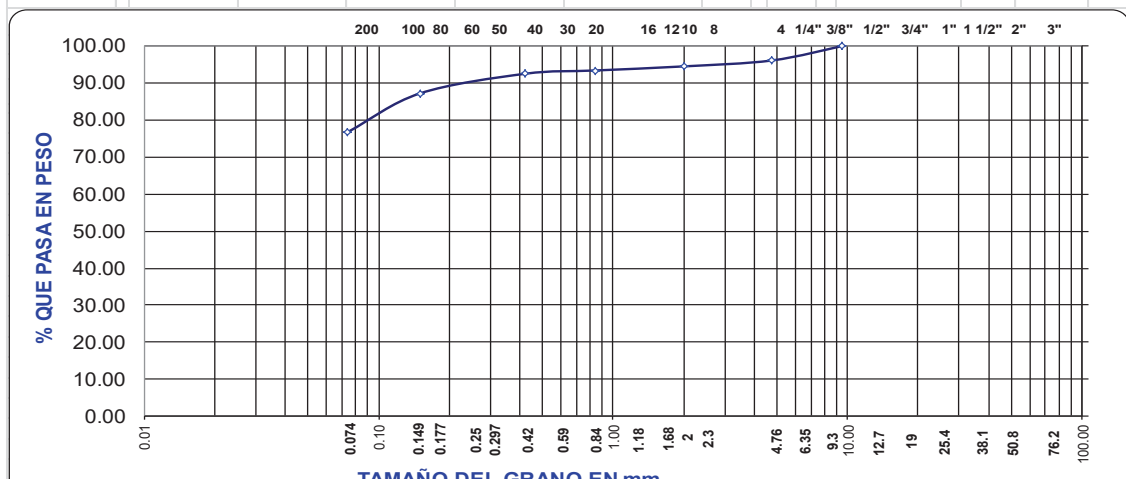
Calicata 1 análisis granulométrico por tamizado:

Se ha tomado como muestra 913 gramos de los cuales 3.90 % corresponde a grava, 19.30 % a arena y 76.80 % corresponde a fin, los resultados se muestran a continuación.

Tabla IV.8.
Análisis granulométrico por tamizado

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial : 913 Grs
2 1/2"	63.000						Peso Fracción : 0 Grs
2"	50.000						Grava : 3.90 %
1 1/2"	38.100						Arena : 19.30 %
1"	25.000						Fino : 76.80 %
3/4"	19.100						W natural : 34.77 %
1/2"	12.500						
3/8"	9.500				100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.760	36.00	3.90	3.90	96.10		Límite Líquido : 39.42 %
No.10	2.000	15.00	1.60	5.50	94.50		Límite Plástico : 30.91 %
No.20	0.840	10.00	1.10	6.60	93.40		Índice Plástico : 8.51 %
No.40	0.420	8.00	0.90	7.50	92.50		
No.100	0.150	48.00	5.30	12.80	87.20		CLASIFICACIÓN
No.200	0.074	95.00	10.40	23.20	76.80		SUCS : ML
<No.200		737.00	76.80				AASHTO : A-4(8)

REPRESENTACIÓN GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Contenido de humedad:

La humedad promedio en la calicata 1 es de 34.77% tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IV.9.
Contenido de Humedad

METODO SECADO AL HORNO					
RECIPIENTE N°			A	B	C
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE			431.00	325.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE			320.00	241.00	
PESO RECIPIENTE			0.00	0.00	
PESO DE AGUA			111.00	84.00	
PESO DE SUELO SECO			320.00	241.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			34.69	34.85	
HUMEDAD PROMEDIO (%)				34.77	

Fuente: Elaboración Propia

Calicata 1. Límites de consistencia:

Para la calicata 1 el LL es 39.42, Limite liquido 30.91 % y Limite plástico es 8.51 %

Tabla IV.10.
Límites de consistencia

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
01. No.DE GOLPES	36	25	16				
02. TARRO No.	4	5	6		2T	9T	
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	27.36	28.74	25.51		8.76	8.03	
04. SUELO SECO * TARRO g	22.87	23.70	21.36		7.69	7.12	
05. PESO DEL AGUA g	4.49	5.04	4.15		1.07	0.91	
06. PESO DEL TARRO g	11.18	11.00	11.08		4.20	4.20	
07. PESO DEL SUELO SECO g	11.69	12.70	10.28		3.49	2.92	
08. HUMEDAD %	38.41	39.69	40.37		30.66	31.16	
L.L.=	39.42 %	L.P.=	30.91 %		I.P.=	8.51 %	

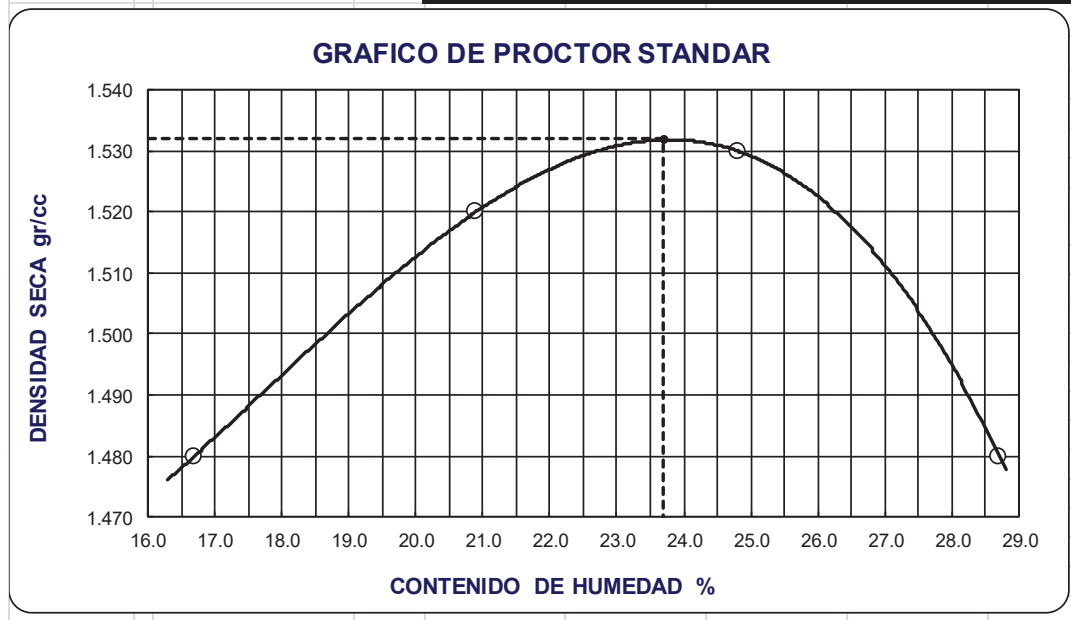
Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Proctor modificado:

Para realizar este ensayo se ha realizado 4 veces en número de capas de 5 y con golpes de pisón primero 56, segundo a 56, tercero a 56 y cuarto a 56, en la siguiente figura se muestra los resultados de la calicata 1

Tabla IV.11.
Proctor modificado

ENSAYO N°		1	2	3	4	
NÚMERO DE CAPAS		5	5	5	5	
GOLPES DE PISÓN POR CAPA		56	56	56	56	
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD						
PESO MOLDE+SUELO	Grs	5,763	5,863	5,931	5,929	
PESO MOLDE	Grs	4,156	4,156	4,156	4,156	
PESO SUELO COMPACTADO	Grs	1,607	1,707	1,775	1,773	
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³	929.4	929.4	929.4	929.4	
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	1.73	1.84	1.91	1.91	
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE N°		Tz-01	Tz-02	Tz-03	Tz-03	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	Grs	321.00	272.00	282.00	224.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	Grs	275.00	225.00	226.00	174.00	
PESO RECIPIENTE	Grs	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	Grs	46.00	47.00	56.00	50.00	
PESO DE SUELO SECO	Grs	275.00	225.00	226.00	174.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	16.70	20.90	24.80	28.70	
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1.48	1.52	1.53	1.48	
					MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.532
					CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (%)	23.70



Fuente: Elaboración propia

Calicata 1. Valor relativo de soporte CBR:

Para este análisis se ha realizado en 03 moldes, en capas de 5, los golpes efectuados en cada molde son las siguientes, en el primero 56 golpes, en el segundo 25 golpes y en el tercero 12 golpes, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IV.12.
Valor relativo de soporte CBR

Molde N°		1	2	3			
Capa N°		5	5	5			
Golpes por capa N°		56	25	12			
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11060		10898		10700	
Peso del molde	gr.	7073		7185		7213	
Peso del suelo húmedo	gr.	3987		3713		3487	
Volúmen del molde	cc.	2104.9		2104.9		2104.9	
Densidad Humeda	gr./cc	1.89		1.76		1.66	
Humedad	%	23.70		23.70		23.80	
Densidad seca	gr./cc	1.53		1.42		1.34	
Tarro N°		1	2	3			
Tarro suelo húmedo	gr.	334	433	343			
Tarro suelo seco	gr.	270	350	277			
Agua	gr.	64	83	66			
Peso del Tarro	gr.	0	0	0			
Peso del suelo seco	gr.	270	350	277			
Humedad	%	23.7	23.7	23.8			
Promedio de la humedad	%						

ENSAYO EXPANSION

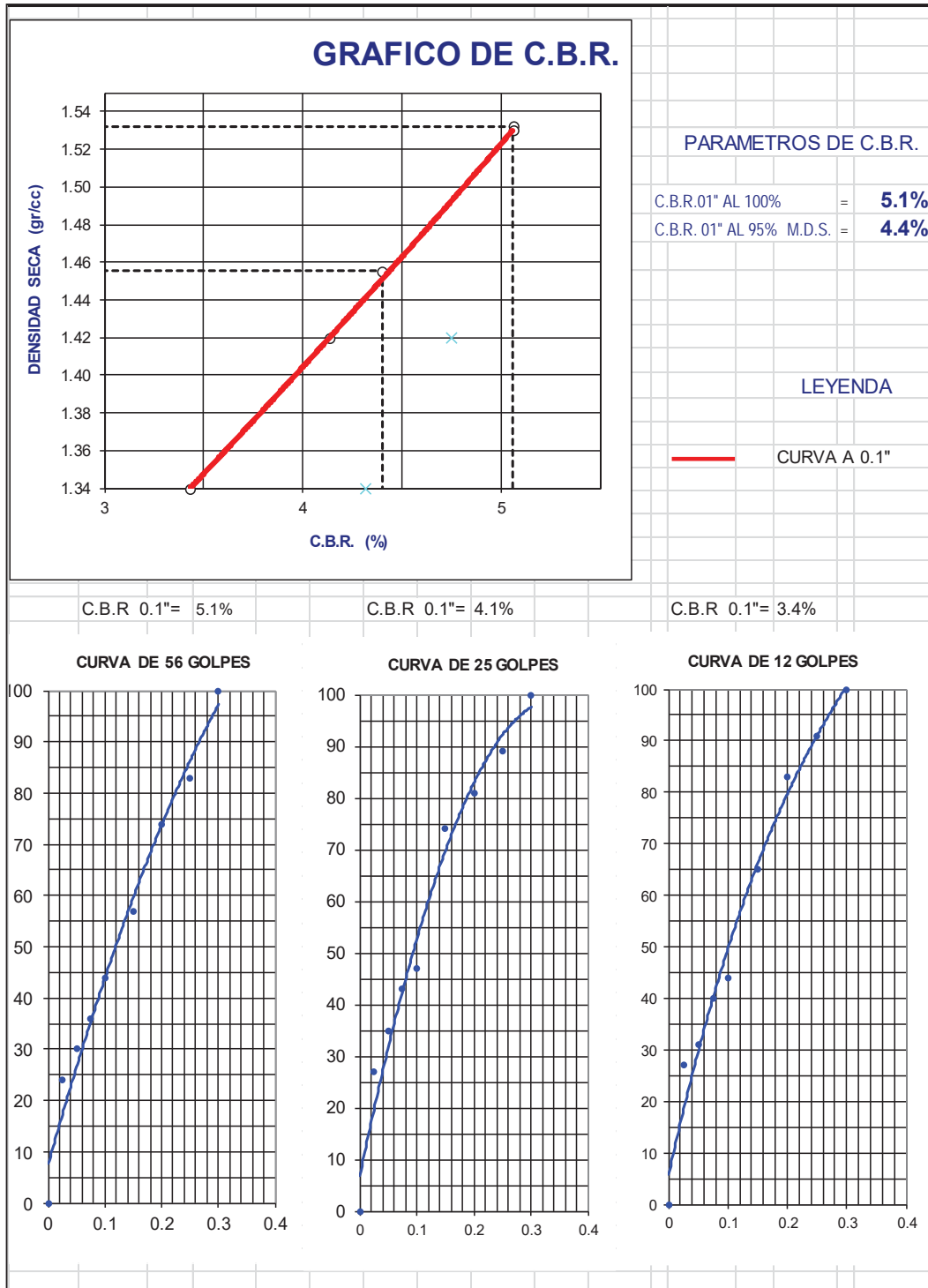
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
9-12-15	15.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-12-15	15.44	24	110	1.1	0.869	145	1.45	1.146	159	1.59	1.256
11-12-15	15.44	48	198	1.98	1.564	210	2.1	1.659	210	2.1	1.659
12-12-15	15.44	72	215	2.15	0.830	226	2.26	0.640	234	2.34	0.593
13-12-15	15.44	96	227	2.27	0.229	235	2.35	0.198	287	2.87	0.608

PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²
0.30	0.600	0.25	4	83	28	3	73	24	2	63	21
1.00	1.300	0.50	6	103	34	5	93	31	3	73	24
1.30	1.900	0.075	8	124	41	7	114	38	5	93	31
2.00	2.500	0.100	11	154	51	8	124	41	6	103	34
3.00	3.800	0.150	15	194	65	15	194	65	11	154	51
4.00	5.000	0.200	21	254	85	17	214	71	15	194	65
5.00	6.000	0.250	24	284	95	19	234	78	17	214	71
6.00	7.500	0.300	30	344	115	22	264	88	19	234	78
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.3.
 Grafico Valor relativo de soporte CBR



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.13.
Resumen de los valores en terreno de fundación

CALICATA N°	ESTRATO	PROF. (m)	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLAST. (%)	CLASIFICACIÓN		PROCTOR		C.B.R.	
						SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	O.C.H. %	95%	100%
C-1	E-3	1.60	33.77	39.42	8.51	ML	A-4(8)	1.53	23.70	4.40	5.10
C-2	E-3	1.70	33.33	45.61	11.01	ML	A-7-5(10)	1.55	23.90	4.80	5.50
C-3	E-3	2.00	35.53	37.02	8.32	ML	A-4(8)	1.56	23.20	5.10	5.80
C-4	E-3	1.80	28.02	65.58	22.08	MH	A-7-5(17)	1.48	30.80	4.20	4.80
C-5	E-3	1.50	10.95	N.P.	N.P.	SP	A-1-b(0)	1.81	10.90	10.00	15.80
C-6	E-3	1.60	31.90	37.80	10.08	ML	A-4(8)	1.61	21.50		
C-7	E-3	1.60	8.99	N.P.	N.P.	SP	A-1-b(0)	1.82	10.20	11.50	16.20

Fuente: Elaboración propia.

Los trabajos de campo se realizaron a cielo abierto. Debido a la uniformidad de los materiales se excavaron para el análisis del terreno de fundación (07) calicatas de 1.50 m hasta 2.0 m. de profundidad. La finalidad de estas labores fue de investigar el comportamiento de dicho suelo.

La clasificación de los suelos según el método AASHTO muestra que el resultado obtenido a través de ensayos corresponde a un suelo malo, que comprende materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos. La clasificación de los suelos según el método S.U.C.S. corresponde a un suelo ML Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 4$, Se puede deducir que el suelo en el terreno de fundación es malo de acuerdo a los resultados obtenidos en las 7 calicatas por lo que se debe mejorar este suelo.

Comportamiento del terreno de fundación:

El material de terreno de fundación se compone por mezcla de suelos entre limos y arcillas, el cual fue evaluado llegando a los resultados del CBR en las siete muestras que tiene los siguientes valores, 5.10, 5.50, 5.80, 4.80, 15.80, 16.20%. Por lo que se debe mejorar la resistencia del suelo.

CONCLUSIONES

Tras haber desarrollado la evaluación de suelos de la vía objeto de estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones:

Primero: Efectuado los ensayos de suelos en laboratorio, dentro de ellos, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelos, Proctor modificado; y ensayos CBR, nos proporciona valores inferiores de los requerimientos técnicos de la norma peruana, además nos encontramos frente a suelos mal gradados.

Segundo: la base y sub base de la estructura del pavimento presenta un suelo bueno, que comprende materiales formados predominantemente por piedra o grava, y con ligante mal graduado, según ensayos de compactación los resultados del CBR en las tres muestras que tiene los siguientes valores, 64.30, 59.0 y 67.30%. Es necesario destacar que el valor considerado está por debajo del mínimo establecido por el MTC en las DG-2013 (80%) para vías de tránsito.

Tercero: el terreno de fundación según el método AASHTO muestra que el resultado obtenido a través de ensayos corresponde a un suelo malo, que comprende materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos, El material de terreno de fundación se compone por mezcla de suelos entre limos y arcillas, el cual tiene resultados del CBR 5.10, 5.50, 5.80, 4.80, 15.80 y 16.20%. Por lo que se debe mejorar la resistencia del suelo.

RECOMENDACIONES

A continuación, se proporcionan algunas recomendaciones que podrían ser tomadas en cuenta:

Primero: Aumentar el número de especímenes a ensayar para tener datos más próximos al óptimo deseado.

Segundo: Realizar este estudio para la formación de base o sub-base en una vía que se estén ejecutando para ver los resultados experimentales de laboratorio y comparar los resultados en condiciones más prácticas.

Tercero: El suelo es un material que presenta gran cantidad variables, las cuales hacen de éste un material muy complejo. El estudio que se llevó a cabo en el presente es bastante limitado debido a que está enfocado en ensayos específicos, por lo tanto, es recomendable considerar ensayos con otras características.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AASHTO "Guide for Design of Pavement Structures". AASHTO, Washington, D.C. 1993.

AASHTO, 1993. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Washington, D.C.: AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Asociación Peruana de Caminos. "I Congreso Nacional del Asfaltó" APC, Lima 1997.

Asociación Peruana de Caminos. "II Congreso Nacional del Asfalto" APC, Lima 1998.

Asociación Peruana de Caminos. "III Congreso Nacional del Asfalto" APC, Lima 1999.

Asociación Peruana de Caminos. "IV Congreso Nacional del Asfalto" APC, Lima 2000.

Asociación Peruana de Caminos. "V Congreso Nacional del Asfalto" APC, Lima 2002.

Asphalt Institute "Thickness Design Asphalt Pavements for Highway and Street". MS-1, AI-1991.

BARBETO Th., R., (2005). Estudio de suelos del estado de Río de Janeiro para aplicación en carreteras de bajo volumen de tránsito. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil. Brazil, Universidad Federal de Río de Janeiro, 174p.

Céspedes A., J. (2002). Los Pavimentos en las vías Terrestres, Calles, Carreteras y Aeropistas. Cajamarca-Perú: UNC.

CRESPO V., C., "Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos", Limusa, 2004.

CHOWDHURY A. Y BUTTON, J. W., 2008, "A Review of Warm Mix Asphalt", Technical Report: September 2005 – December 2008, Texas Transportation Institute.

EG-2000-MTC, "Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de - Carreteras", MTC-Perú, 2000.

GARNICA A., P., GÓMEZ L., J. A. y SESMA M., J. A., (2002). Mecánica de materiales para pavimentos, Instituto mexicano del Transporte (IMT), publicación Técnica no. 197, Safandila, Qro, México.

MS-19 "A BASIC ASPHALT EMULSION MANUAL", Manual Series - 19, Asphalt Institute.

MS-14 ASPHALT COLD-MIX MANUAL, 1997, Third Edition, Manual Series - 14, Asphalt Institute. Manual de la construcción ICG

Minaya G., S. - Ordoñez H., A. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Lima - Perú: UNI-FIC-II.

Montejo F., A. (2006). Ingeniería de Pavimentos. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia, Ediciones y publicaciones.

Supo P., Wilfredo D. (2013). Diseño de Pavimentos, Apuntes del curso, CAPIC-FICP-UANCV.

PEREIRA V.V., (2007), Estudio de tres suelos estabilizados con emulsión asfáltica, Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil. Brazil, Universidad Federal de Río de Janeiro, 182p.

R. E. Bisso "Los Asfaltos, Tecnología y Aplicaciones", Peto Perú, 1998. SOUTO M., H. y BARBOSA S., J., (2005). Comparación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en frío con diferentes contenidos de fresado incorporado, Laboratorio de mecánica de los pavimentos, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. 12p.

Timoshenko y Goodier. "Teoría de la Elasticidad". Urmo, 1968.

Yang H. Huang. "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall, 1993. Wright, "Ingeniería de Carreteras", Limusa, 1999.

ANEXOS

Anexo 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿Cómo será el comportamiento estructural del pavimento de suelo granular de la av. Huancane de la ciudad de Juliaca – 2017?</p> <p>Problema específico: ¿Cuáles serán los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base de la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuáles serán los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la base de la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivo general: Analizar el comportamiento estructural del pavimento de suelo granular de la av. Huancane de la ciudad de Juliaca – 2017</p> <p>Objetivo específico: Determinar mediante ensayos los valores del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base de la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca</p> <p>Determinar mediante ensayos los valores del comportamiento estructural del suelo granular en la base de la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis general: El comportamiento estructural del pavimento de suelo granular es inadecuado en la av. Huancane de la ciudad de Juliaca – 2017</p> <p>Hipótesis específica: Los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la sub base son inadecuados en la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca</p> <p>Los valores determinados mediante ensayos del comportamiento estructural del suelo granular en la base de la Av. Huancane de la ciudad de Juliaca</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (x) Pavimento de suelo granular</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE (y) Comportamiento estructural</p>	<p>Plataforma existente</p> <p>Propiedades mecánicas de la sub base</p> <p>Propiedades mecánicas de la base</p>	<p>Sub base</p> <p>base</p> <p>– Granulometría de contenido de humedad</p> <p>– Límites de consistencia</p> <p>– Proctor modificado</p> <p>– Valor relativo de soporte (CBR)</p> <p>– Granulometría de contenido de humedad</p> <p>– Límites de consistencia</p> <p>– Proctor modificado</p> <p>– Valor relativo de soporte (CBR)</p>	<p>TIPO: Cuantitativa, aplicado.</p> <p>NIVEL: Explicativo, analítico</p> <p>DISEÑO: Explicativo</p> <p>MÉTODO: Deductivo-inductivo</p> <p>POBLACIÓN: Av. Huancane</p> <p>MUESTRA: Tramo - ovalo Vilcapaza. Puente Independencia</p> <p>TÉCNICAS: Ensayos Observación</p> <p>INSTRUMENTOS: Certificaciones Ensayos de laboratorio</p> <p>PROCEDIMIENTOS: ANOVA.</p>

Anexo 2

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

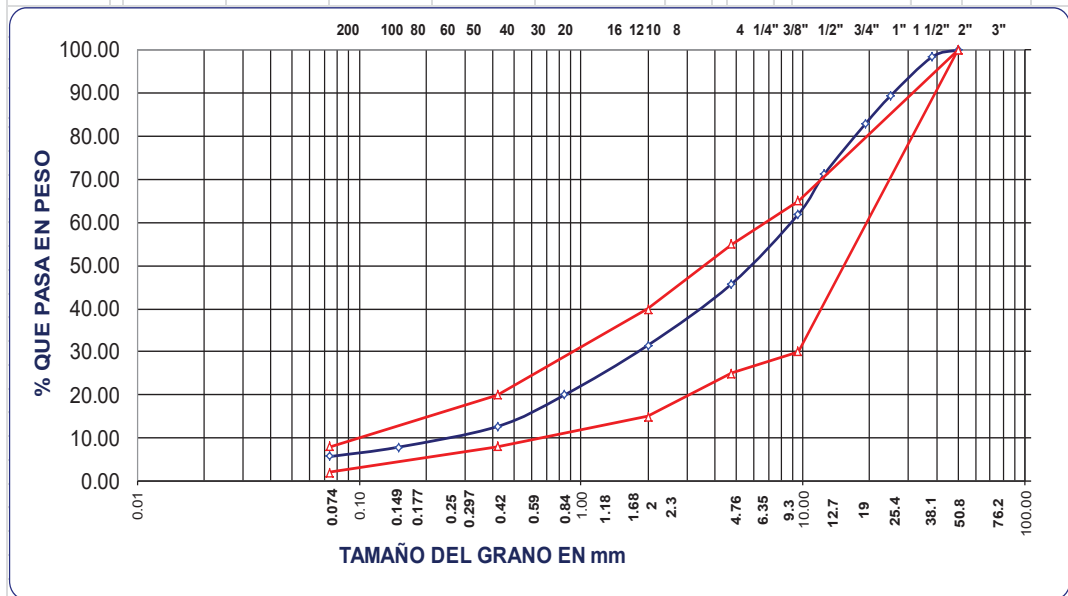
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA:	C-01, ESTRATO 1; PROG. 0+040	TEC. RESPONS.:	PERSONAL DE LABORATORIO
MUESTRA:	SUB BASE Y BASE EXISTENTE	ING. RESPONS.:	
UBICACIÓN:	AV. HUANCANE	FECHA:	

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. A	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial : 6851 Grs
2 1/2"	63.000						Fracción< N°4 : 780 Grs
2"	50.000				100.00	100 - 100	Grava : 54.30 %
1 1/2"	38.100	114.00	1.70	1.70	98.30		Arena : 39.96 %
1"	25.000	604.00	8.80	10.50	89.50		Fino : 5.74 %
3/4"	19.100	458.00	6.70	17.20	82.80		W natural : 8.34 %
1/2"	12.500	792.00	11.60	28.80	71.20		
3/8"	9.500	641.00	9.40	38.20	61.80	30 - 65	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.760	1,106.00	16.10	54.30	45.70	25 - 55	Límite Líquido : 24.75 %
No.10	2.000	242.00	14.18	68.48	31.52	15 - 40	Límite Plástico : 19.80 %
No.20	0.840	197.00	11.54	80.02	19.98		Índice Plástico : 4.94 %
No.40	0.420	124.00	7.27	87.29	12.71	8 - 20	
No.100	0.150	82.00	4.80	92.09	7.91		CLASIFICACIÓN DEL SUELO
No.200	0.074	37.00	2.17	94.26	5.74	2 - 8	S.U.C.S. : GP-GC
<No.200		98.00	5.74	100.0			A.A.S.H.T.O. : A-1-a (0)

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD**



Observaciones:

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

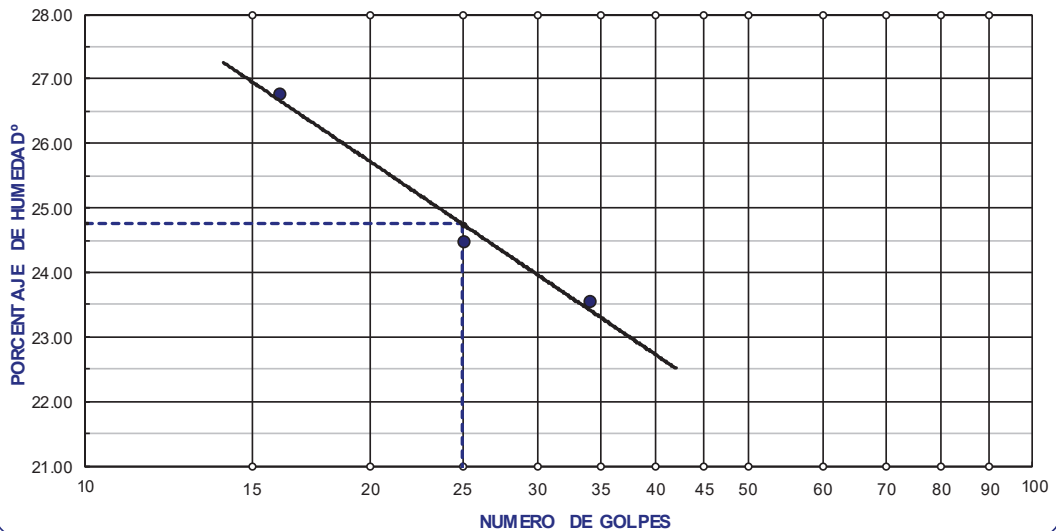
DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA C-01, ESTRATO 1; PROG. 0+040 **TEC. RESPONS.:** PERSONAL DE LABORATORIO
MUESTRA: SUB BASE Y BASE EXISTENTE **ING. RESPONS.:** 0
UBICACIÓN: AV. HUANCANE **FECHA:**

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	No.	g	%	g	%	%
01. No.DE GOLPES	34	25	16			
02. TARRO No.	12	7	4		9T	11T
03. SUELO HUMEDO * TARRO	g	30.14	30.32	29.69	11.92	10.66
04. SUELO SECO * TARRO	g	26.51	26.55	25.77	10.65	9.59
05. PESO DEL AGUA	g	3.63	3.77	3.92	1.27	1.07
06. PESO DEL TARRO	g	11.11	11.16	11.13	4.21	4.21
07. PESO DEL SUELO SECO	g	15.40	15.39	14.64	6.44	5.38
08. HUMEDAD	%	23.57	24.50	26.78	19.72	19.89

L.L.=	24.75 %	L.P.=	19.80 %	I.P.=	4.94 %
--------------	----------------	--------------	----------------	--------------	---------------

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Observaciones: _____

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMETOS

PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA: C-01, ESTRATO 1; PROG. 0+040	TEC. RESPON.: PERSONAL DE LAB.
MUESTRA: SUB BASE Y BASE EXISTENTE	ING. RESPON.: 0
UBICACIÓN: AV. HUANCANE	FECHA:

ENSAYO N°	1	2	3	4
NÚMERO DE CAPAS	5	5	5	5
GOLPES DE PISÓN POR CAPA	56	56	56	56

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD

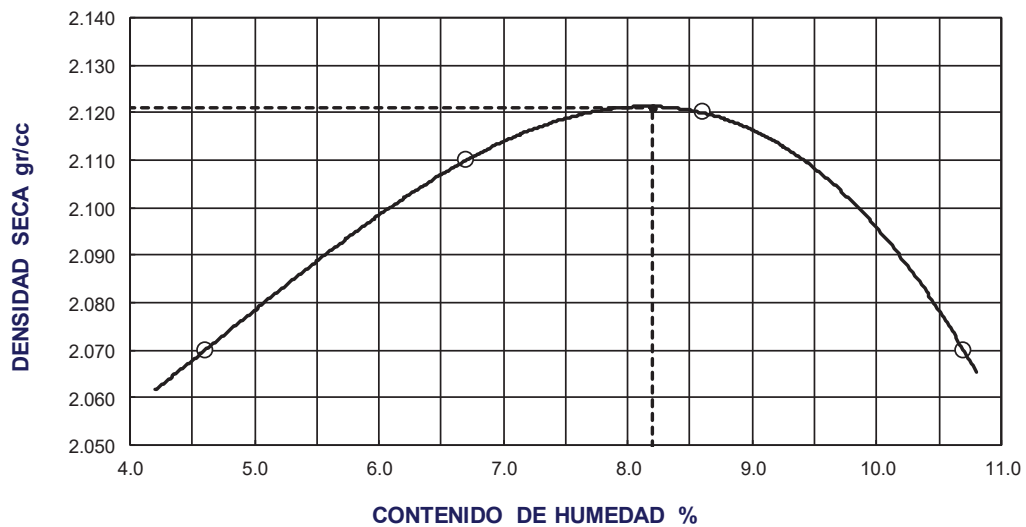
PESO MOLDE+SUELO	Grs	10,520	10,711	10,824	10,790
PESO MOLDE	Grs	5,980	5,980	5,980	5,980
PESO SUELO COMPACTADO	Grs	4,540	4,731	4,844	4,810
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³	2,104.9	2,104.9	2,104.9	2,104.9
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2.16	2.25	2.30	2.29

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°		Tz-01	Tz-02	Tz-03	Tz-03
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	Grs	432.00	288.00	379.00	353.00
SUELO SECO + RECIPIENTE	Grs	413.00	270.00	349.00	319.00
PESO RECIPIENTE	Grs	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA	Grs	19.00	18.00	30.00	34.00
PESO DE SUELO SECO	Grs	413.00	270.00	349.00	319.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.60	6.70	8.60	10.70
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	2.07	2.11	2.12	2.07

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.121
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (%)	8.20

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Observaciones:

Anexo 3




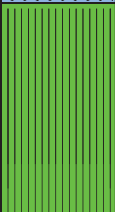
PERFIL ESTRATIGRAFICO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DATOS DE LA MUESTRA


CANtera:	CALICATA N° 01	TEC. RESP.:	PERSONAL DE LABORAT.
MUESTRA :	TERRENO DE FUNDACION	ING. RESP. :	
UBICACIÓN :	AV. HUANCANE	FECHA:	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LONG. TRAMO (m)	N.F. (m)	ESTRATO	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD NATURAL %	C.B.R. AL 100 %	
									LL (%)	IP (%)			
							carpeta asfáltica existente de 3"						
	0.4		No se encontró nivel freático	E-1	GP-GC		Base y sub base existente; grava pobremente graduada con limo y arcilla	MA	24.75	4.94	8.34	64.3	
	0.4							Mejoramiento, constituido de roca < 12" y material integral de la cantera Taparachi	MNC				
	0.3			E-2									
	0.7						Limo inorgánico con arena fina y arcilla, con poca plasticidad	MA	39.42	8.51	34.77	5.1	
	0.9			E-3	ML								
	1.6												



OBSERVACIONES:

- MI: Muestra inalterada
- MA: Muestra alterada
- MNC: Muestra no conseguida
-  : Escala gráfica vertical (Equivalente a 0.10 m.)

Anexo 4

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 01: calicata para la determinación del terreno de fundación



Fotografía 02: densidad de campo en terreno de fundación



Fotografía 03.- densidad de campo de la primera capa



Fotografía 04: densidad de campo de la segunda capa



Fotografía 05: ensayos en laboratorio de suelos (CBR)



Fotografía 06: Ensayo de laboratorio (granulometría)



Fotografía 07.- tamizado de muestra (Granulometría)



Fotografía 08.- ensayo de laboratorio (Proctor Modificado)