

“Universidad Nacional del Altiplano”
“Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica”
“Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica”



“Universidad Nacional del Altiplano”
“Facultad de ingeniería geológica y metalúrgica”
“Escuela profesional de ingeniería Metalúrgica”

TESIS

“INFLUENCIA DE LA INCLUSION DE DESECHO DE POLICLORURO DE
VINILO (PVC) SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE UN MATERIAL
GRANULAR TIPO SUBBASE EN LA CIUDAD DE JULIACA”

TESIS PRESENTADO POR**BACHILLER: EDWIN RENE PARI PARI**

Presentado a la Coordinación de Investigación de la Escuela Profesional de
Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano para optar el
Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA**APROBADO POR:****PRESIDENTE DE JURADO**
M.Sc. Alfredo Mamani Canqui**PRIMER MIEMBRO**
Ing. Hugo Fernandez Ochoa**SEGUNDO MIEMBRO**
Ing. Fernando Bernedo Colca**DIRECTOR DE TESIS**
M.Sc. Edwin Gallegos Pasco**ASESOR DE TESIS**
Ing. Hipolito Cordova gutierrez**AREA: Metalurgia transformativa****TEMA: Metodología de la investigación**

DEDICATORIA



Me complace dedicar esta tesis a toda mi familia, a mi madre que con su identidad maternal me dio a ver su sacrificio inalcanzable para con sus hijos, a mis hermanos cuyas personalidades son completamente ejemplares. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento me han dado todo lo que soy como persona, dedicar a todas esas personas que me dieron el apoyo incondicional durante la realización de este trabajo.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I.....	4
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	4
1.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	5
1.3 ANTECEDENTES.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.6 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6.1 HIPOTESIS GENERAL	6
1.6.2 HIPOTESIS SEGUNDARIAS	6
CAPITULO II.....	8
MARCO TEORICO	8
2.1.1 ¿ QUE ES EL SUELO ?	8
2.1.2 LAS ROCAS ÍGNEAS	9

2.1.3 LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.....	10
2.1.4 LAS ROCAS METAMORFICAS.....	10
2.2 BASE Y SUB BASE GRANULARES	15
2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	16
2.4 POLIMEROS.....	18
2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS POLÍMEROS.....	20
2.5 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	20
2.5.1 OBTENCIÓN.....	23
2.6 DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO.....	26
2.6.1 MANEJO DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO.....	28
2.7 MARCO TEORICO TECNICO.....	29
2.7.1 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.....	29
2.7.2 DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLASTICO	33
2.7.3 DETERMINACION DE LOS FACTORES DE CONTRACCION DE LOS SUELOS.....	37
2.7.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.....	38
2.7.5 ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR MODIFICADO).....	41
2.7.6 ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)	44
CAPITULO III.....	47
METODOLOGIA.....	47
3.1 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO	48
3.2 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICIDAD E ÍNDICE PLÁSTICO	55
3.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO	61

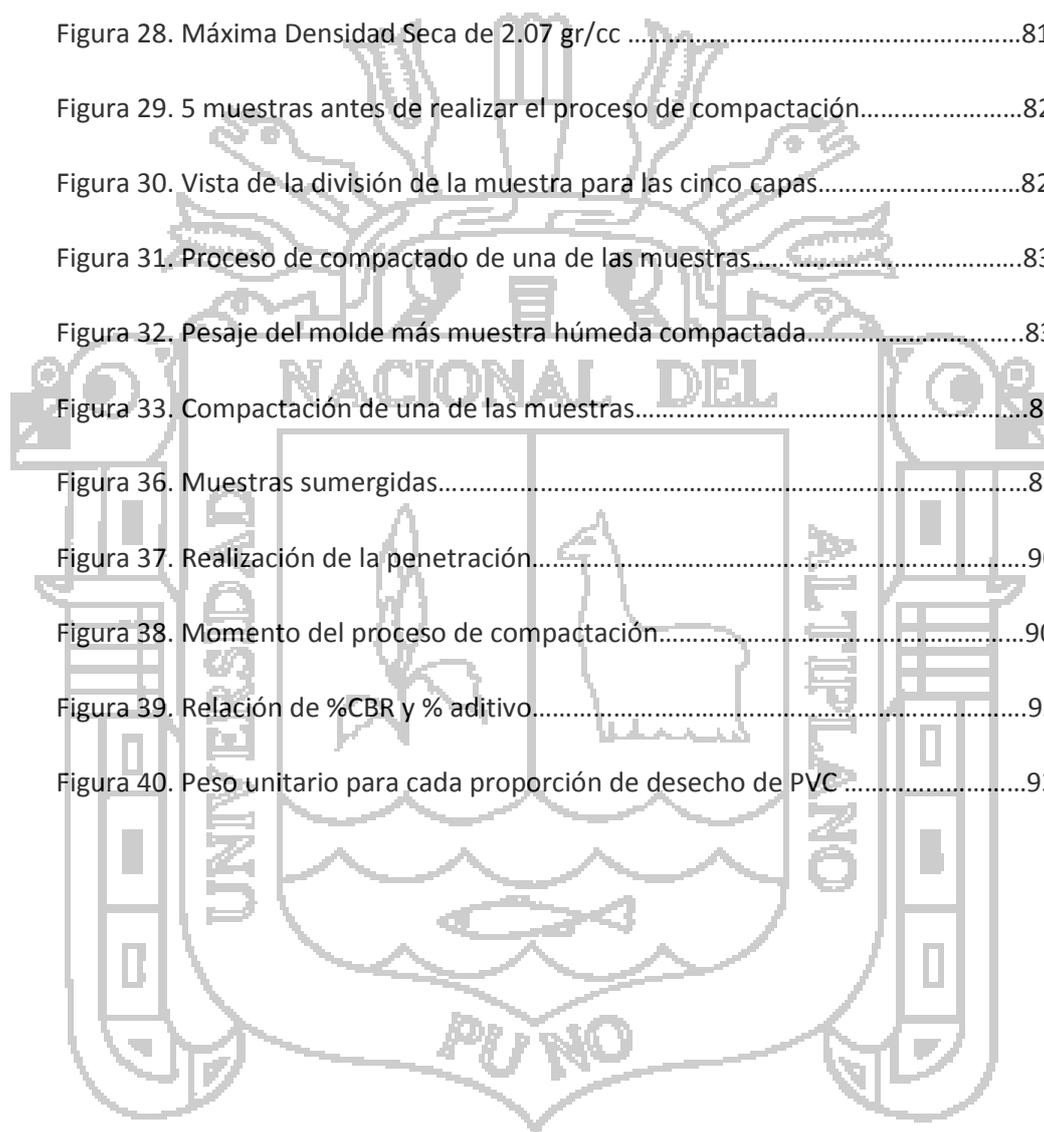
3.4 ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	70
3.5 ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)	74
3.6 ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA CBR	85
 CAPITULO IV	 92
RESULTADOS Y DISCUSION	92
4.1 COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA DE MATERIAL GRANULAR Y DESECHO DE PVC	92
 CONCLUSIONES	 96
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	98



INDICE DE FIGURAS

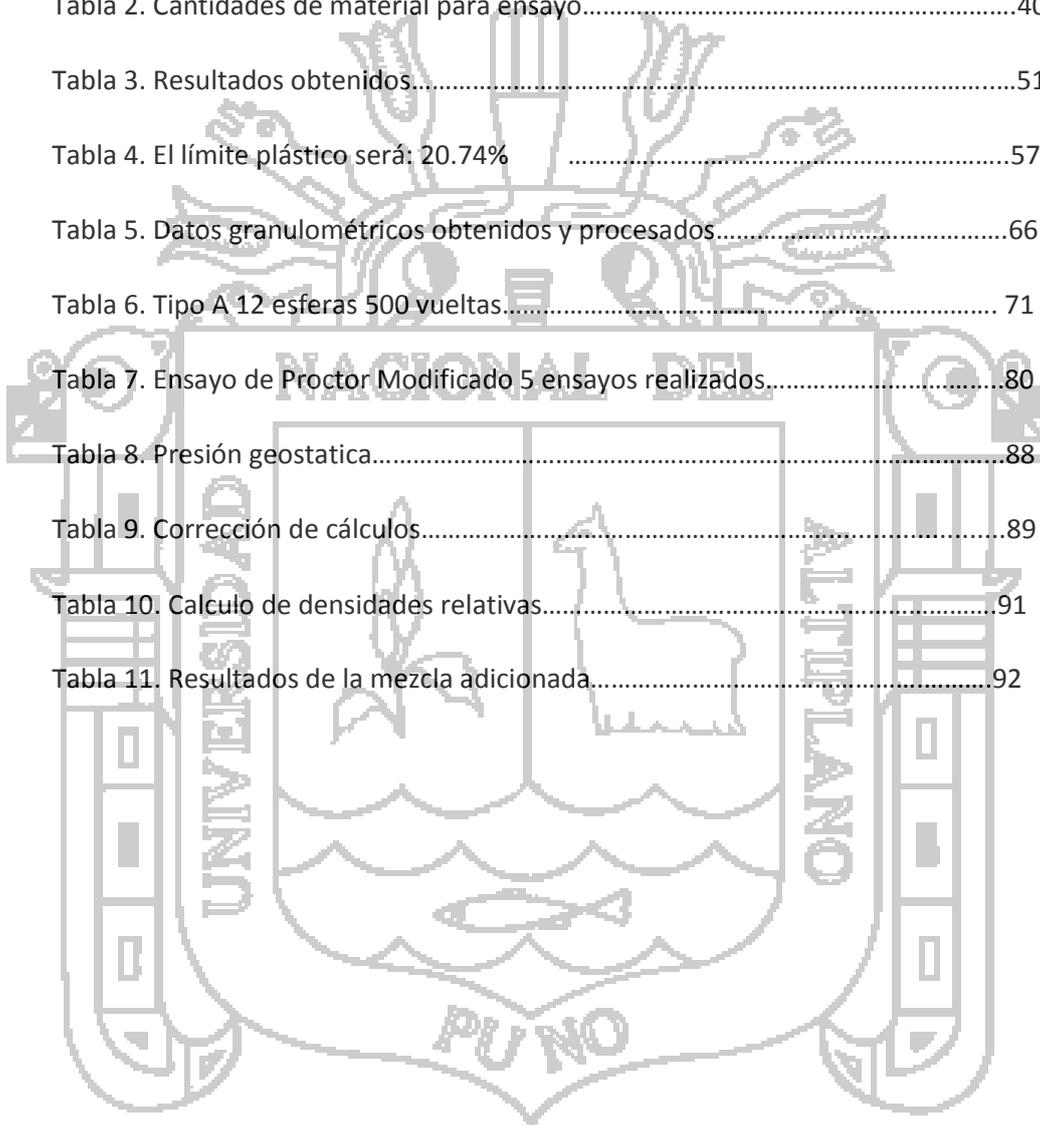
Figura 1. Ciclo roca suelo	09
Figura 2. Ciclo de una roca	11
Figura 3. Tipología de suelos	11
Figura 4. Composición de un suelo	12
Figura 5. Poros comunicados y no comunicados.....	14
Figura 6. Fase sólida y gaseosa	14
Figura 7. Sistema sólido-agua	14
Figura 8. Estructura molecular del Policloruro de vinilo (PVC).....	20
Figura 9. Toma de muestras de la cantera de río Unocolla.....	46
Figura 10. Toma de muestras de la cantera Taparachi.....	47
Figura 11. Vista Panorámica de la Cantera de Taparachi.....	47
Figura 12. Curva de flujo del límite líquido.....	52
Figura 13. Pesado de recipientes vacíos.....	52
Figura 14. Uso del ranurador en la copa de Casagrande	53
Figura 15. Muestra extraída (lugar donde se aproximaron).....	53
Figura 16. Muestra que será llevada al durante 24 horas.....	54
Figura 17. Pesado de recipiente vacío	58
Figura 18. Muestra en proceso de saturación en 24 horas.....	59
Figura 19. Rollado del material diámetro aproximado de 3.2 mm.....	59
Figura 20. Curva granulométrica.....	64
Figura 21. Pesaje del material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "	67
Figura 22. Muestras a combinar al 50% posteriormente.....	67

Figura 23. Tamizado de las muestras.....	68
Figura 24. Muestras para tamizadas.....	68
Figura 25. Pesaje de la muestra combinada salida de la máquina de los ángeles....	72
Figura 26. Máquina de los Ángeles.....	72
Figura 27. Muestra en el horno.....	73
Figura 28. Máxima Densidad Seca de 2.07 gr/cc	81
Figura 29. 5 muestras antes de realizar el proceso de compactación.....	82
Figura 30. Vista de la división de la muestra para las cinco capas.....	82
Figura 31. Proceso de compactado de una de las muestras.....	83
Figura 32. Pesaje del molde más muestra húmeda compactada.....	83
Figura 33. Compactación de una de las muestras.....	84
Figura 36. Muestras sumergidas.....	89
Figura 37. Realización de la penetración.....	90
Figura 38. Momento del proceso de compactación.....	90
Figura 39. Relación de %CBR y % aditivo.....	92
Figura 40. Peso unitario para cada proporción de desecho de PVC	93



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuente: (Montejo, 1998).....	15
Tabla 2. Cantidades de material para ensayo.....	40
Tabla 3. Resultados obtenidos.....	51
Tabla 4. El límite plástico será: 20.74%	57
Tabla 5. Datos granulométricos obtenidos y procesados.....	66
Tabla 6. Tipo A 12 esferas 500 vueltas.....	71
Tabla 7. Ensayo de Proctor Modificado 5 ensayos realizados.....	80
Tabla 8. Presión geostática.....	88
Tabla 9. Corrección de cálculos.....	89
Tabla 10. Calculo de densidades relativas.....	91
Tabla 11. Resultados de la mezcla adicionada.....	92



RESUMEN

En nuestra región, los materiales granulares de alta calidad para la conformación de estructuras de pavimentos flexibles son difíciles de conseguir. En algunas ocasiones el ingeniero debe trabajar con materiales granulares que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de las especificaciones que el ministerio de transportes exige. En este caso el ingeniero debe intentar mejorar las propiedades del material ya sea por medios químicos o mecánicos.

En la presente investigación se utilizó el desecho de PVC como material de adición, para modificar el comportamiento de una sub base granular. A partir de ensayos como proctor modificado y CBR (california bearing ratio) se comparó el comportamiento del material natural de una cantera específica de la ciudad de Juliaca con la alternativa del proyecto el cual fue combinado con diferentes proporciones del desecho de PVC.

Los resultados de la investigación nos ayudaran a saber si este modifica el CBR de una mezcla granular tipo sub base para poder utilizarlo adecuadamente en proyectos como carreteras, o terraplenes donde se requiera una buena compactación de mayor resistencia y menor peso.

INTRODUCCION

Según Lambe (1999), el suelo es considerado como el material de construcción más abundante del mundo y muchas veces el único recurso local con que cuenta el ingeniero para sus obras, en este caso, se busca que sus características cumplan los requisitos que exigen dichos trabajos.

La inclusión de otros materiales como agentes estabilizadores de suelos permite que se mejoren algunas propiedades (principalmente las de resistencia) disminuyan los costos y efectos ambientales, en especial, si dichos materiales provienen de subproductos industriales o de reciclaje, y se actualicen las técnicas de estabilización modificación o mejoramiento de suelos mediante la inclusión de materiales alternativos.

La inquietud de estabilizar o modificar los suelos ha permitido que se generen métodos innovadores que, aunque basados en los convencionales, hacen uso de aditivos y procesos diferentes. Siguiendo esta tendencia, se presenta este documento donde se estudia el comportamiento en cuanto a resistencia de un suelo grueso o material granular tipo subbase en su estado natural, y el mismo material adicionándole un producto que hasta ahora no se había usado como agente modificador en este tipo de materiales: el desecho de PVC.

El trabajo se enfoca al análisis del comportamiento en cuanto al CBR, por ser el ensayo más utilizado actualmente en el país para evaluar el comportamiento de los materiales granulares dentro de las estructuras de pavimento. Dentro del documento se utilizará la denominación material

granular tipo subbase o subbase granular para indicar un suelo que cumple con las normas que rigen en nuestro país, para ser caracterizado como tal, en atención a que para algunos ingenieros los materiales utilizados para pavimentos no se deben denominar suelos. De igual manera, el término 'estabilización de suelos' se utilizará para indicar procesos que modifican o mejoran las propiedades mecánicas de los suelos.



CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas ocasiones al momento de ejecutar un proyecto nuevo ya sean carreteras y explanaciones, donde este soporte cargas los suelos naturales no cumplen con las condiciones a las que se someterá dicha obra es por ello que el presente trabajo tratara de satisfacer mejorando la calidad del suelo modificándolo para que alcance una mayor resistencia y un menor peso por peso unitario del material.

El problema surge cuando determinadas obras de carreteras no cumplen con su ciclo de vida establecido por el proyectista que lo diseño, debido a fallas en el momento de ejecución cuando a veces no se considera el tipo de suelo que se le agregara para mejorar las propiedades de las sub bases que se agregara a estas obras como material de préstamo, y estos se deterioran antes de los previstos por el proyectista.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Es posible modificar la capacidad de soporte de una mezcla granular de subbase adicionándole desecho de policloruro de vinilo?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Será posible cambiar el peso unitario del material granular tipo sub base?

¿Será posible aumentar la resistencia a la compresión de la mezcla granular tipo sub base?

1.3 ANTECEDENTES

Los antecedentes para esta investigación surgen a raíz de la investigación que se realizó en el país de Colombia, donde se hizo una investigación similar y fue realizado por los investigadores Edgar Rodrigues Rincon, Hugo Alexander Rondón Quintana y Leydi Carolina Aguirre Aguirre, los cuales obtuvieron resultados óptimos mejorando notablemente la capacidad de soporte con el tipo de suelo que existe en Colombia. Para tal caso se hace el mismo ensayo con las mismas proporciones de desecho de Policloruro de vinilo donde solo se cambiara el tipo de agregado el cual será de la zona donde se realiza el estudio.

Existen también otras revisiones que se hicieron de otras investigaciones de Estabilización de Suelos pero con diferente compuesto, el cual nos facilitó más aun a nuestra investigación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Debido al hecho de que los materiales preparados para subbase en la ciudad de Juliaca no alcanzan una compactación adecuada, un CBR que no pasa del 20%, y que en su mayoría de casos son el principal factor por el cual las carreteras, obras viales en general se deterioran antes de lo previsto a causa de esta razón se pretende una estabilización de este tipo de suelo con el fin de mejorar la capacidad de soporte de este suelo.

Al incluir desecho de poli cloruró de vinilo se pretenderá disminuir el peso unitario de la súbbase granular el cual nos ayudara enormemente a mejorar la capacidad de soporte al disminuir su densidad.

Necesariamente aumentara la compresión cuando a este suelo de subbase tipo granular se le agregue desecho de poli cloruró de vinilo.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Modificar el CBR de un material granular tipo sub base agregándole una inclusión de desecho de PVC.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Lograr cambiar el peso unitario del material granular tipo sub base con la inclusión de desecho de PVC.

Aumentar la resistencia a la compresión de la mezcla granular tipo sub base con la inclusión de desecho de PVC.

1.6 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 HIPOTESIS GENERAL

Si la inclusión de desechos de PVC a un material granular tipo sub base favorece notablemente en las propiedades entonces mejorara el CBR del material.

1.6.2 HIPOTESIS SEGUNDARIAS

La inclusión de desecho de PVC a un material granular tipo sub base logra cambiar el peso unitario de esta.

La inclusión de desecho de PVC a un material granular tipo sub base favorece notablemente la resistencia a la compresión.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.1 ¿QUE ES EL SUELO?

El suelo ha sido definido, en forma muy general, como la frágil piel que cubre la superficie terrestre y que cumple con variadas funciones:

Un medio para el desarrollo de los planetas.

Un regulador de los suministros de agua.

Un hábitat y proveedor de energía y nutrientes para infinidad de organismos.

Un agente almacenador, degradador y desintoxicador de sustancias tóxicas

Un medio que provee soporte a estructuras tales como edificios, puentes, casas y caminos.

Es la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos.

El proceso mediante el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o van a formar nuevos compuestos, se conoce con el nombre de meteorización.

Según Terzaghi:

Suelo: es todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como la agitación en agua.

Roca: es un agregado de minerales unidos por fuerzas cohesivas, poderosas y permanentes.

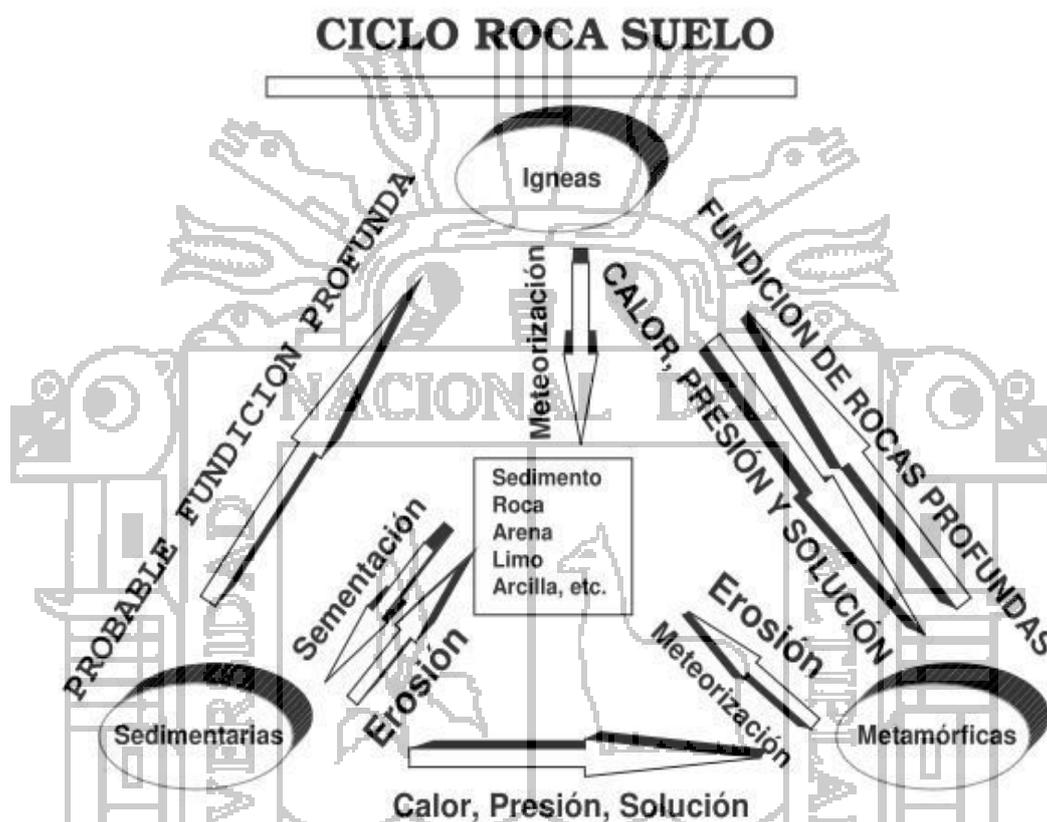


Figura 1. Ciclo roca suelo

2.1.2 LAS ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas (latín ignis, "fuego") se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica.

Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por

ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas.

Las rocas ígneas componen, aproximadamente, el noventa y cinco por ciento de la parte superior de la corteza terrestre, pero quedan ocultas por una capa relativamente fina pero extensa de rocas sedimentarias y metamórficas.

2.1.3 LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos, resultan en un material de cierta consistencia.

Pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.

Cubren más del 75 % de la superficie terrestre, formando una cobertura sedimentaria sobre un zócalo formado por rocas ígneas y, en menor medida, metamórficas. Sin embargo su volumen total es pequeño cuando se comparan sobre todo con las rocas ígneas, que no sólo forman la mayor parte de la corteza, sino la totalidad del manto.

2.1.4 LAS ROCAS METAMORFICAS

Cuyo significado es “cambio de forma”, son rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, que tras cambios físicos y químicos sufren una reestructuración y modificación de sus propiedades.

Este cambio se produce en un ambiente de altas presiones de confinamiento, altas temperaturas, intensa acción de cizallamiento,

presencia de ciertos fluidos subterráneos, químicamente activos o alguna combinación de dos o tres de estos factores, pero sin fusión.

El metamorfismo de las rocas se produce bajo presiones de confinamiento de por lo menos 2 kilobars (kb).



Figura 2. Ciclo de una roca

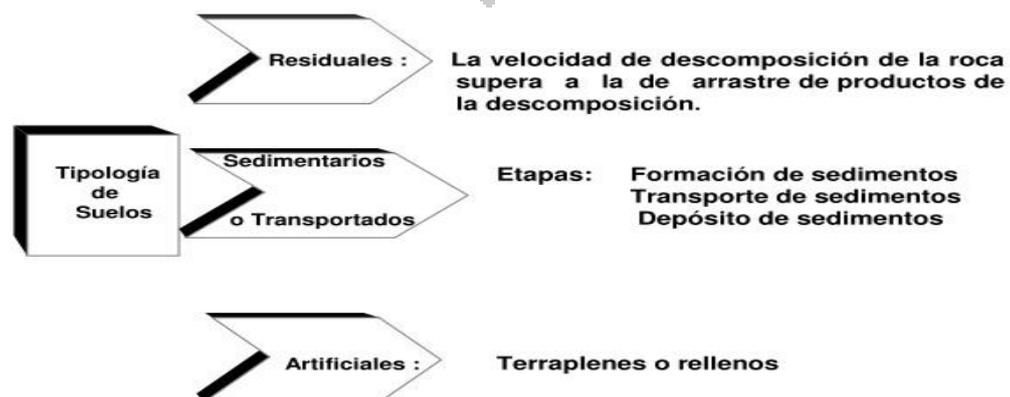


Figura 3. Tipología de suelos

EL SUELO COMO UN SISTEMA DE TRES FASES

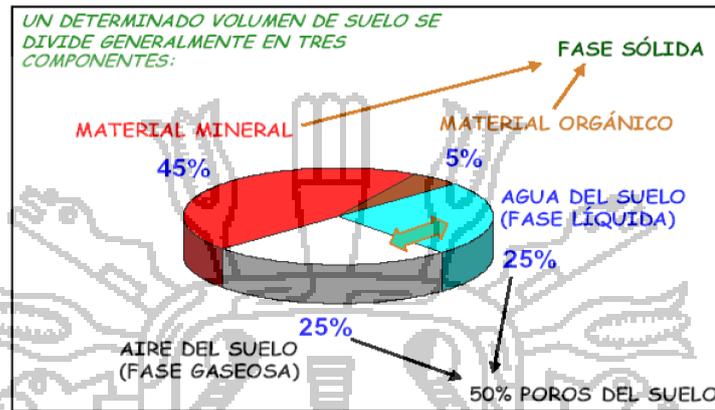


Figura4. Composición de un suelo

EL SUELO Y SU ORIGEN

El suelo es algo más que un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, sin organización: es un conjunto con organización definida y propiedades que varían "vectorialmente". En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal: el suelo tiene un perfil.

Para el agrónomo, los suelos son la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal. El apreciará el hecho de que el cultivo a que está destinada la capa superficial no es el más adecuado de acuerdo a la naturaleza de las sustancias químicas presentes.

Para el geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie (no

toma en cuenta los materiales transportados no intemperizados posteriormente a su transporte).

Para Juárez Badillo y Rico Rodríguez, por suelo se entiende todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves (se excluyen las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie).

Fases constituyentes del suelo: consideramos al suelo un sistema disperso, constituido por las tres fases: la fase sólida, formada por las partículas del suelo en sí; la fase líquida, el agua, que puede estar contenida en los poros o en la superficie de las partículas; y la fase gaseosa, o sea el aire, que también puede encontrarse en los poros interiores (no comunicados con el exterior) de las partículas.

La actuación de estas fases formando sistemas: sólido-líquido-aire; sólido-líquido; sólido-aire, confieren al conjunto "suelo" sus distintas propiedades.

El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo.

En la fig. 5 vemos partículas de suelo con poros comunicados y no comunicados con el exterior, envueltas en agua, retenida por fuerzas de diversa intensidad. El agua tiende a adoptar la forma de la partícula que envuelve, o bien la forma esférica. Los espacios que dejan libres el suelo y el agua son ocupados por aire.

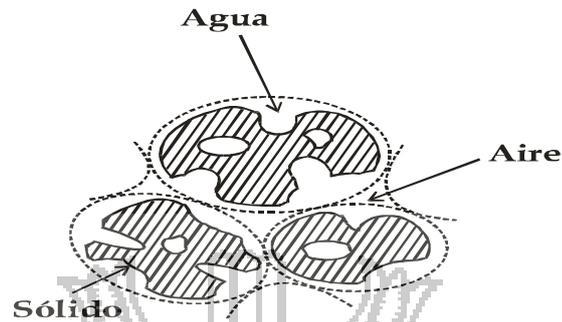


Figura 5. Poros comunicados y no comunicados

En figura 6 tenemos la fase sólida y gaseosa: los fenómenos de atracción y retención mutua entre partículas debidos al agua no tienen lugar. Un ejemplo es el polvo suelto, es decir, aglomeraciones de partículas sueltas y secas. La estabilidad del conjunto es prácticamente nula.

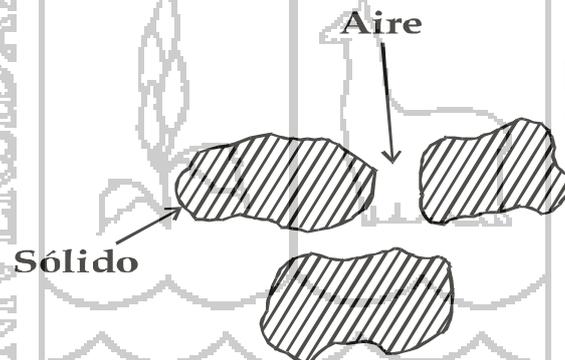


Figura 6. Fase sólida y gaseosa

En la figura 7 tenemos el sistema sólido-agua, con predominio del agua. En la condición de las partículas envueltas por capas sucesivas de agua, no existe la atracción presente en la primera figura: el sistema fluye, pues la dispersión es muy grande y nos hallamos muy cerca del estado líquido.

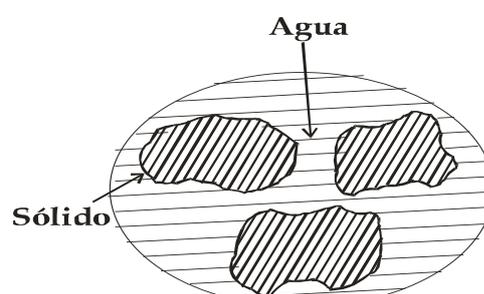


Figura 7. Sistema solido-agua

En ingeniería, la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

2.2 BASE Y SUB BASE GRANULARES

Las subbases granulares son elementos estructurales del pavimento que tienen como propósito distribuir las cargas del tránsito. Para satisfacer este propósito, las subbases deben ser construidas con propiedades de resistencia interna necesarias (Montejo, 1998). Según el tipo de estructura de pavimento, atendiendo las más utilizadas en la actualidad, las subbases se clasifican como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Definición de sub base

TIPO DE SUBBASE	Subbase para pavimento flexible	Subbase para pavimento rígido
DEFINICIÓN	Se refiere a la capa de materiales seleccionados que está entre la base y la subrasante.	Capa comprendida entre la losa de concreto hidráulico y la subrasante.
FUNCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transmitir de forma adecuada a la subrasante los esfuerzos que la base recibe del tránsito. ▪ Formar una capa de transición entre los materiales finos de la subrasante y los gruesos de la base, evitando la contaminación e interpenetración de ellos. ▪ Ayudar a disminuir los efectos perjudiciales de los cambios volumétricos de la subrasante. ▪ Contribuir al drenaje de la estructura. ▪ Reducir los costos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evitar el fenómeno de bombeo, esto se refiere a la fluencia del material fino con agua debido a la infiltración de la misma en las juntas de las losas. ▪ Proporcionar superficie de apoyo uniforme a las losas. ▪ Constituir una superficie adecuada para el paso de los equipos de construcción. ▪ Disminuir los efectos perjudiciales por los cambios volumétricos de la subrasante.

Fuente: (Montejo, 1998)

Sub-Base: son las capas de material especificado o seleccionado, de espesor establecido, colocado sobre la subrasante para sostener la base.

2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico para modificar las características de los suelos.

Es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

Los suelos se estabilizan para modificar las propiedades existentes haciéndolos capaces de cumplir en mejor forma los requisitos deseados, especialmente buscando un buen comportamiento esfuerzo-deformación.

Las propiedades que se intentan modificar en un material granular a través de un proceso de estabilización son: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

Con respecto a los métodos de estabilización de suelos, los siguientes han sido referenciados en la literatura (Abril & Castrillón, 1993; Aguirre & Vélez, 2005; Amaya et al., 1978; Barragán & Contreras, 1994; Caicedo & Herrera, 2004; Gómez et al., 1983; Mendivil et al., 1981; Romero & Alfonso, 1986; Rosas & Sarmiento, 1997; Vega & Martínez, 2005; Rico & Del Castillo, 1976) para estabilizar subbases granulares: estabilización mecánica por medio de mezclas, estabilización mecánica por compactación, estabilización por drenaje, estabilización con cal, estabilización con cal y cenizas volantes, estabilización con cemento, estabilización con asfalto, estabilización con lignina de cromo, estabilización con sales de aluminio, estabilización con crudo de castilla.

Los más utilizados para estabilizar subbases granulares corresponden al cemento, asfalto, compactación y cal, sin embargo. en la actualidad se

investigan métodos y materiales no convencionales que permitan estabilizaciones óptimas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Las tres formas de lograr la estabilización de un suelo son:

Física

Química

Mecánica

Mezclas de suelos.

Geotextiles: son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros y para controlar la erosión de suelos y el transporte de lodos.

Consolidación.

QUÍMICA

Cal: Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad)

Cemento Pórtland: para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia).

Productos asfálticos: Para material triturado sin cohesión (emulsión, muy usada).

Cloruro de sodio y cloruro de calcio: Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos) .

Escorias de fundición: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

Polímeros: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

Hule de neumáticos: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

MECÁNICAS

Compactación: Regularmente se hace en la sub-base, base y en carpetas asfálticas.

2.4 POLIMEROS

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamados monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas (Areizaga et al., 1992).

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras (nailon, rayón), los adhesivos, el vidrio y la porcelana.

La polimerización es una reacción química realizada mayormente en presencia de un catalizador que se combina para formar moléculas gigantes.

Los polímeros tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes constituidas por moléculas sencillas. Los que se obtienen industrialmente se conocen como plásticos, éstos también pueden ser llamados homopolímeros, que se producen cuando el polímero formado por la polimerización de monómeros iguales.

Muchos monómeros también forman polímeros con pérdida simultánea de una pequeña molécula, como la del agua, la del monóxido de carbono o del cloruro de hidrógeno. Estos polímeros se llaman polímeros de condensación y sus productos de descomposición no son idénticos a los de las unidades respectivas de polímero.

El nylon es uno de los polímeros más comunes usados como una fibra, pertenece al grupo de las poliamidas (designado con las siglas PA), debido a las características de los grupos amida en la cadena principal. El nylon 6,6, además llamado nylon 66, es obtenida por la policondensación de la hexametildiamina (6 átomos de carbono) y el ácido adípico (6 átomos de carbono). Las unidades de diácido y de diamina alternan en la cadena polimérica.

En todo momento encontramos nylon en nuestra ropa, pero también en otros lugares, en forma de termoplástico.

Plásticos, materiales polímeros orgánicos (compuestos formados por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado.

2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS POLÍMEROS

Los polímeros tienen propiedades físicas y químicas muy distintas de las que poseen los cuerpos formados por moléculas sencillas. Son de gran valor su inercia química, que los hace inatacables por los ácidos y bases y por los agentes atmosféricos, su elevada resistencia mecánica que los hace resistentes a la rotura y al desgaste, su elevado poder dieléctrico, su elasticidad, su fácil teñido en todos los tonos y colores, su baja densidad, que varía entre 0,9 y 1,5 y su fácil obtención a bajas temperaturas, lo que permite su fabricación en gran escala. Estas valiosas cualidades han dado lugar a la producción industrial de un gran número de altos polímeros, conocidos técnicamente como plásticos, resinas, elastoplásticos y fibras sintéticas, los cuales van invadiendo todos los campos de aplicación de los productos naturales, tal como metales, porcelana, madera, gomas, seda, algodón, etc., puesto que en muchos casos son incluso más baratos que éstos.

2.5 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El policloruro de vinilo, $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})_n-$, es un polímero sintético de adición que se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, y es la materia prima para la preparación del PVC. Su estructura molecular es la siguiente.

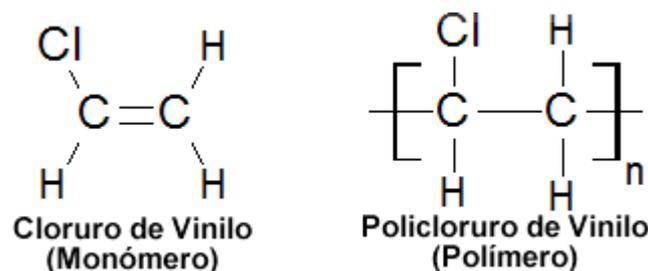


Figura 8. Estructura molecular del Policloruro de vinilo (PVC)

Las materias primas de las cuales se deriva el PVC son la sal común y el petróleo o gas natural. Del petróleo o gas se obtiene el etileno, mediante un proceso de craqueo; la sal se disuelve en agua y se somete a electrólisis para separar el cloro presente en ella. El etileno, en un 43%, y el cloro, en un 57%, son entonces combinados bajo calor para obtener un gas monómero, el cloruro de vinilo. Las moléculas del monómero se encadenan como resultado de una reacción conocida como polimerización. El producto resultante de este proceso es el PVC en su estado de resina virgen, cuyo aspecto es el de un fino polvillo blanco. (PETCO S. A., 2005).

La mayoría de veces el policloruro de vinilo se utiliza con aditivos que mejoran su acabado, estos son: plastificantes (dan flexibilidad a los materiales poliméricos), estabilizadores de calor (para prevenir la degradación térmica durante el procesado y aumentar la vida útil), lubricantes (ayudan a la fluidez durante el procesado e impiden la adhesión a las superficies metálicas), rellenos (abaratando los costos) y los pigmentos (dan color, opacidad y resistencia a la intemperie).

Debido a la facultad que tienen las resinas de mezclarse con diferentes aditivos, el PVC ha sido utilizado para diversos productos, que van desde los rígidos y durables utilizados para el suministro de agua potable y energía hasta los flexibles como las películas extensibles para empaquetar alimentos.

La construcción e infraestructura abarca el 60% de productos realizados con PVC beneficiando los ámbitos de la vida moderna o satisfaciendo las necesidades humanas.

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil. Este se pueden producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetano. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

El átomo de cloro enlazado a cada átomo de carbono le confiere características amorfas principalmente e impiden su re cristalización, la alta cohesión entre moléculas y cadenas poliméricas del PVC se deben principalmente a los momentos dipolares fuertes originados por los átomos de cloro, los cuales a su vez dan cierto impedimento estérico es decir que repelen moléculas con igual carga, creando repulsiones electrostáticas que reducen la flexibilidad de las cadenas poliméricas, esta dificultad en la conformación estructural hace necesario la incorporación de aditivos para ser obtenido un producto final deseado.

En la industria existen dos tipos:

Rígido: para envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente).

Flexible: cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados.

El PVC se caracteriza por ser dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental. Además, es reciclable por varios métodos.

2.5.1 OBTENCIÓN

Se obtiene a partir del craqueo del petróleo, que consiste en romper los enlaces químicos del compuesto para conseguir diferentes propiedades y usos. Lo que se obtiene es el etileno, que combinado con el cloro obtenido del cloruro de sodio producen etileno diclorado, que pasa a ser luego cloruro de vinilo. Mediante un proceso de polimerización llega a ser cloruro de polivinilo o PVC. Antes de someterlo a procesos para conformar un objeto el material se mezcla con pigmentos y aditivos como estabilizantes o plastificantes, entre otros.

HISTORIA

Resulta paradójico que uno de los polímeros comerciales menos estables sea al mismo tiempo uno de los materiales plásticos más interesantes de la actualidad, lo que se refleja en la gran cantidad de toneladas que se consumen anualmente en el mundo. Ese éxito comercial, se ha debido principalmente, al desarrollo de estabilizantes adecuados, y de otros aditivos que han hecho posible la producción de compuestos termoplásticos de gran utilidad. El cloruro de vinilo en su forma de monómero, fue descubierto por Henri Victor Regnault en 1835 y en 1872 por Eugen Baumann en situaciones diferentes. Regnault produjo cloruro de vinilo cuando trataba dicloroetano con una solución alcohólica de hidróxido de potasio. También descubrió, accidentalmente, el poli(cloruro de vinilo), por medio de la exposición directa del monómero a la luz del día. Sin embargo, no advirtió la importancia de sus descubrimientos, ni

comprendió que el polvo blanco contenido en el vaso de precipitados de vidrio, era el polímero del líquido obtenido al comienzo. Baumann tuvo éxito en 1872, al polimerizar varios haluros de vinilo y fue el primero en obtener algunos de estos en la forma de producto plástico. Ostrominlensky estableció en 1912 las condiciones para la polimerización del cloruro de vinilo y, desarrolló técnicas convenientes en escala de laboratorio. Klatte de Grieskein descubrió en 1918 los procesos que aún se emplean en la actualidad para la producción de cloruro de vinilo a través de la reacción en estado gaseoso, del cloruro de hidrógeno y del acetileno, en presencia de catalizadores.

El cloruro de vinilo y sus polímeros han sido curiosidades de laboratorio hasta hace 40 años, cuando se inició una labor de investigación más profunda y dirigida tanto en Alemania, como en Estados Unidos y Rusia. Senon de la B. F. Goodrich Company, y Reid de la Carbide and Chemical Carbon Company, obtuvieron patentes para la producción de PVC que pueden ser considerados como los puntos de partida para la producción industrial de este material.

El desarrollo de un PVC de Alto Impacto constituye uno de los descubrimientos de mayor importancia en la segunda mitad del siglo XX, en relación con este material.

CARACTERÍSTICAS

Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad (1,4 g/cm³), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción.

Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones.

Es estable e inerte por lo que se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad, por ejemplo los catéteres y las bolsas para sangre y hemoderivados están fabricadas con PVC, así como muchas tuberías de agua potable.

Es un material altamente resistente, los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; de acuerdo al estado de las instalaciones se espera una prolongada duración del PVC así como ocurre con los marcos de puertas y ventanas.

Debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por si solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Los perfiles de PVC empleados en la construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, se debe a la poca inflamabilidad que presenta.

Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias debido a que es un buen aislante eléctrico.

Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas (basta unos segundos expuestos a una llama) y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación.

Alto valor energético. Cuando se recupera la energía en los sistemas modernos de combustión de residuos, donde las emisiones se controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.

Amplio rango de durezas.

Rentable. Bajo coste de instalación.

Es muy resistente a la corrosión.

2.6 DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO

El PVC puede producir dos clases de desecho: la primera se genera durante la producción, en el proceso de polimerización, y la segunda, al finalizar el ciclo de vida de los productos de PVC (tubos de PVC, botellas, juguetes, tarjetas, etc.).

En esta investigación se utilizó material proveniente del proceso industrial de PLASTISUR S. A., compañía dedicada a la producción de resinas de PVC en solución y emulsión, que son usados para diversas aplicaciones:

El PVC tipo resina es utilizado en recubrimientos espumados para cuero sintético, espumas de inhibición para pisos vinílicos, papel de colgadura, sellos de tapas, empaquetaduras espumadas, espumas mecánicas, tapetes anti-fatiga, soporte para alfombras, plantillas para calzado, partes para filtros de aire, recubrimientos por inmersión, espumas vinílicas expandidas por presión y tintas para estampar camisetas.

El PVC tipo suspensión es usado en piezas inyectadas, tubería, perfiles, láminas, envases, tejas, películas, suelas, sellos para tapas, cables

eléctricos, cintas, discos, tintas, pisos, adhesivos, lacas, cueros sintéticos, recubrimiento de telas, mangueras y geomembranas.

El desecho que se genera durante la producción de la resina de PVC se obtiene durante la polimerización del cloruro de vinilo. La empresa PLASTISUR obtiene estos desechos en tres momentos de la producción:

Después de la polimerización, al separar el agua del PVC se desecha una mezcla de agua con PVC.

Posteriormente, en el secador rotatorio, se separa el PVC y se obtiene otra mezcla a desechar de agua con PVC.

Al tamizar el PVC previo a su empaque se desechan partículas gruesas y finas que no cumplen las especificaciones de la empresa.

Además, durante la producción de PVC eventualmente se tiene que abortar el proceso por alguna circunstancia anormal (fallos de luz, mal funcionamiento de la maquinaria, etc.); en ese momento el producto que se esté procesando se convierte en desecho.

Por su procedencia, el desecho de PVC es un producto que contiene mezclas de las diferentes resinas que produce la empresa. Dado que la planta de producción genera varios tipos de PVC, que en los compartimientos de descarga de desechos se mezclan y, además, por considerarse un desecho, no se le tienen grandes cuidados de manipulación quedando expuesto a la contaminación (tierra, agua, sílice).

Por lo anterior, no posee unas propiedades muy definidas, sin embargo, este desecho está conformado en gran parte por resina de PVC por lo cual se supone que conserva la mayoría de sus propiedades.

2.6.1 MANEJO DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO

El manejo del desecho se puede realizar:

Reciclado: el PVC reciclado es elaborado de la misma forma que la resina de PVC virgen; el reciclaje puede ser químico (actualmente en fase de desarrollo) o mecánico (tanto de los residuos industriales como de los residuos post-consumo); este último es el sistema más practicado y promocionado por los organismos estatales y autonómicos (PLASTUNIVERS, 2005).

Sin embargo, el PVC reciclado no puede ser utilizado para envases y objetos que estén en contacto con alimentos.

Incineración: la incineración es una solución eficaz que no necesita combustible o energía y puede utilizarse en calefacción o producción de electricidad.

El impacto para la salud y el medio ambiente de la incineración de los desechos de PVC depende de la sofisticación, tecnología y condiciones de operación de las plantas que lo realizan, como por ejemplo, la utilización de un sistema de neutralización de humos para el ácido clorhídrico o un tratamiento de efluentes gaseosos, etc.

Rellenos sanitarios: los rellenos sanitarios son otra solución para el desecho de PVC, pero no es la más factible y segura para el medio ambiente.

A pesar de que el impacto ambiental generado por el desecho de PVC es menor que el de otros materiales alternativos, se deben tomar medidas preventivas para evitar contaminación de fuentes hídricas o exposición

frecuente a estos materiales; Zapata (1976) y PLASTUNIVERS (2005) han referenciado diferentes problemas asociados a su utilización (infertilidad en seres humanos, aumento de radiación, permanencia en el ambiente, etc.), y en algunos países se ha prohibido su uso.

2.7 MARCO TEORICO TECNICO

En el desarrollo del presente estudio se adelantó una serie de ensayos encaminados a caracterizar la subbase granular y realizar una comparación entre el comportamiento del CBR del material en estado natural y el material con aditivo (desecho de PVC), incluyendo algunas observaciones adicionales respecto a la plasticidad del material y su peso unitario.

Para lo cual se detallaran cada una de las pruebas que se realizaron, con el fin de proporcionar una mayor amplitud acerca del tema en cuestión.

2.7.1 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa, por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75um (N° 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso Ret, en el tamiz N}^\circ 200}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Ret.} = \frac{\text{Peso Ret, en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Ret. Acumulado}$$

Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ humedad higroscopica} = \frac{W - W1}{W1} \times 100$$

Dónde:

W= Peso de suelo secada al aire

W1= Peso de suelo secado en el horno

Para la clasificación de suelos para usos de ingeniería es universalmente acostumbrado el análisis granulométrico. Una parte importante de los

criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques, y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente. La susceptibilidad de sufrir la acción de las heladas en suelo, una consideración de gran importancia en climas muy fríos puede predecirse a partir del análisis granulométrico del suelo.

Los suelos muy finos son arrastrados fácilmente por el agua que circula a través del suelo y los sistemas de subdrenaje usualmente se colman con sedimentos rápidamente a menos que sean protegidos adecuadamente por filtros de material debidamente gradado. La gradación adecuada de estos materiales, denominados filtros, puede ser establecida a partir de su análisis granulométrico.

Para obtener un resultado significativo la muestra debe ser representativa de la masa de suelo. Como no es posible determinar el tamaño real de cada partícula independiente de suelo – la práctica solamente agrupa los materiales por rangos de tamaños. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero es retenida por un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores al anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de muestra pasada a través de los tamices.

Todos los sistemas de clasificación utilizan el tamiz No. 200 como punto divisorio; las clasificaciones se basan en términos de cantidad retenida y

cantidad que pasa el tamiz No. 200. Ocasionalmente es deseable conocer la escala aproximada de las partículas menores que el tamiz No. 200. Cuando esto se requiere, el método a seguir es el ensayo de “análisis granulométrico – método del hidrómetro”.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva.

Para poder comparar suelos y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de los granos presentes, y como una masa de suelo típica puede tener partículas que varíen entre tamaños de 2.00 mm y 0.075 mm las más pequeñas (tamiz No. 200), por lo cual sería necesario recurrir a una escala muy grande para poder dar el mismo peso y precisión de la lectura a todas las medidas, es necesario recurrir a la escala logarítmica para los tamaños de las partículas. Los procedimientos patrones utilizan el porcentaje que pasa como la ordenada en escala natural de la curva de distribución granulométrica.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, etc. El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente, de la partícula de suelo y el subíndice (10, 30, 60) denota el porcentaje de material más fino. Por ejemplo,

D10 = significa que el 10% de los granos son menores al tamaño indicado por el corte sobre la curva y proyectado al eje X.

Una indicación de la variación del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad C_u , definido como:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Un valor grande de en este parámetro C_u indica que los diámetros D_{60} y D_{10} difieren un tamaño apreciable. No asegura sin embargo, que no exista un vacío de gradación, como el que se presenta cuando falta por completo o solo existe una cantidad muy pequeña de diámetros de determinado tamaño.

El Coeficiente de concavidad C_c o de curvatura es una medida de la forma de la curva entre el D_{60} y el D_{10} , y se define de la siguiente forma

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

Valores de C_c muy diferentes de 1.0 indican que faltan una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D_{10} y al D_{60} .

2.7.2 DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLASTICO

LIMITE LÍQUIDO.-es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo.

El límite líquido se define como el contenido de agua necesario para que la ranura de un suelo ubicado en el equipo de Casagrande, se cierre después de haberlo dejado caer 25 veces desde una altura de 10 mm.

Muestra.- La cantidad usada es aproximadamente 100 gr. pasa malla N° 40 de la muestra original, previamente secada al aire.

Ajuste y control del Aparato de Casagrande.- Ajustar la altura de caída de la cuchara: se gira la manivela hasta que la cuchara se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10mm, se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de 10mm exactamente.

De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchara un ligero campanilleo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido debe realizarse un nuevo reajuste.

LIMITE PLÁSTICO.- "el limite plástico es el contenido de agua que limita el estado plástico resistente semisólido."

El límite plástico de un suelo es el menor contenido de humedad determinado, de acuerdo con el método bajo el cual el suelo permanece plástico.

Para la determinación de éste límite se toma muestras del ensayo para la obtención del límite líquido y procedemos a amasarla y posteriormente a arrollarla, cuya arrolladora vamos disminuyendo en el diámetro, hasta que los rollitos presenten rupturas o ranuras. Mientras se rasga aumentamos la humedad del suelo que no presenta ninguna falla, hasta que los rollitos lleguen a tener un diámetro de 3 mm, en cuyo diámetro decimos que esa humedad es la que determina el índice plástico.

Las arenas no tienen plasticidad, los limos tienen pero muy poca, en cambio las arcillas, y sobre todo aquellas ricas en materia son muy plásticas.

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cuál un cilindro se rompe o se resquebraja cuando se enrolla a un diámetro de 3 mm. O aproximadamente 3 mm. Esta prueba es bastante más subjetiva (dependiente del operador) que el ensayo del límite líquido, pues la definición del resquebrajamiento del cilindro de suelo así como del diámetro están sujetas a la interpretación del operador.

El diámetro puede establecerse durante el ensayo por comparación de un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. Con la práctica, se encuentra que los valores del límite plástico pueden reproducirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratoristas, dentro de un rango del 1 al 3%.

El ensayo tiene como finalidad la determinación del límite plástico de un suelo. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de unos 3 mm de diámetro, rodando la muestra de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que los cilindros se rompan a pedazos.

Se parte de una muestra fina de suelo (partículas inferiores a 0,40 mm) que se amasa con agua destilada hasta que se pueda formar, con facilidad, una bola sin que al aplastarla, se pegue a los dedos.

Con la tercera parte de la muestra, se forma un elipsoide y, acto seguido, se hace rodar entre los dedos de la mano y una superficie lisa, con la presión mínima para formar cilindros.

Si al llegar el cilindro a un diámetro de 3.2 mm no se ha hecho micas, se vuelve a repetir el proceso tantas veces como sea necesario, hasta que se consiga quedar en trozos pequeños dicho diámetro.

La porción de suelo, así obtenida, se coloca en una pesa sustancia tarada y se continúa el proceso hasta obtener una muestra de al menos 5 gr. A continuación, se determina la humedad de la muestra.

Se repite la operación con la otra tercera parte de la muestra.

La muestra mínima de material para proceder a su ensayo se establece en 2,5 kg.

EXIGENCIAS

Las exigencias normativas vienen especificadas por el valor del índice de plasticidad y, a menudo, ligadas a los valores del límite líquido.

En terraplén las exigencias para cada tipo de suelo son:

Suelos seleccionados: Índice de plasticidad menor a 10.

Suelos adecuados: Si el límite líquido es superior a 30, el índice de plasticidad será superior a 4.

Suelos tolerables: Si el límite líquido es superior a 40, el índice de plasticidad será mayor al 73 % del valor que resulta de restar 20 al límite líquido.

Suelos marginales: Si el límite líquido es superior a 90, el índice de plasticidad será mayor al 73 % del valor que resulta de restar 20 al límite líquido.

2.7.3 DETERMINACION DE LOS FACTORES DE CONTRACCION DE LOS SUELOS

La presente práctica permitirá saber el comportamiento y determinaremos la contracción del suelo en estudio.

En esta práctica realizaremos la práctica con el estrato número 02 en donde cumple con la expectativa de trabajo el cual tiene la propiedad de ser un estrato plástico.

El objetivo del ensayo es determinar el límite de contracción de un suelo por método del mercurio.

El límite de contracción se define como el contenido de humedad al cual un material al ser secado termina de perder volumen.

En la práctica de contracción se debe tener mucho cuidado porque estamos expuesto a un mineral líquido contaminante la vertibilidad de dicho metal puede causar traumas en el sistema nervioso que son irreversible lo cual que podrá ser realizado con toda seriedad con un tutor que pueda estar observando.

El grupo debe contar con sus respectivo equipo de seguridad así podrá protegerse con la contaminación del mercurio.

Al finalizar de la práctica tendrá que lavarse reiterada veces con agua jabón para que no haya malestares más adelante.

2.7.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Para determinar la dureza se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Normas ICONTEC 93 y Norma ICONTEC 98 para los agregados gruesos. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = [P_a - P_b] / P_a$$

Donde

P_a es la masa de la muestra seca antes del ensayo (gr.)

P_b es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 mm

En el ensayo de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Maquina de los Ángeles. Este es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.

Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.

Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe reemplazarse con un perfil de hierro en ángulo

fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla.



Tabla 2. Cantidades de material para ensayo

TIPO	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (gr.)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente (Montejo y cornejo)

La carga abrasiva la constituyen esferas de acero cuyo peso total dependerá de la graduación granulométrica de la muestra de prueba.

Numero de esferas en éste ensayo 12

Diámetro de las esferas: 1 27/32 pulgadas.

Peso de las esferas: entre 390 y 445 gramos

Número de revoluciones a que debe girar la máquina de los Ángeles: 500.

Velocidad a que debe girar la máquina: 30 a 33 r.p.m.

2.7.5 ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR MODIFICADO)

Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 5 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 ó 56 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

IMPORTANCIA Y USO

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería.

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.

Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad (w_o) y el Peso Unitario Seco ($máx$) mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) o al óptimo (w_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ($máx$). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) o al óptimo (w_o), y el Peso Unitario Seco ($máx$) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

Cualquier proyectista de fundaciones en algún momento ya tuvo que hacer su diseño basado en conclusiones procedentes de un estudio geotécnico, incluyendo la mejora de una capa de suelo de espesor variable, por medio de la sustitución de este por un material granular o de material compactado, por ejemplo, el 95% Proctor Normal o Proctor modificado.

Pero, ¿qué significa Proctor?

No todos los terrenos naturales en los cuales se debe realizar un cierto tipo de fundación, son adecuados. Un suelo granular suelto, por ejemplo, puede sufrir deformaciones elásticas inadmisibles. Lo mismo puede ocurrir a un terreno cohesivo por razones de consolidación. Debe entonces ser mejorado este suelo.

La compactación no es seguramente el único método de mejora de suelos, aún si es uno de las más económicos y populares. Existen varios otros métodos, por ejemplo: las inyecciones, el congelamiento, la vibro fluctuación, la precompresión, los drenes, la estabilización con materiales como la cal o las cenizas.

Con la compactación variamos la estructura del suelo y algunas de sus características mecánicas. Algunos de los parámetros que varían con la compactación son: permeabilidad, peso específico y resistencia al corte. A través de la compactación buscamos las propiedades adecuadas para el suelo de una determinada fundación, así como una buena homogenización del mismo, lo cual causará una reducción de la posibilidad de producirse asentamientos diferenciales

COMPACTACION

Proceso de empaquetamiento de las partículas de suelo más cercanamente posible por medio mecánico aumentando la densidad seca.

La compactación consiste en un proceso reiterativo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua, al fin de garantizar las características mecánicas necesarias del suelo.

OCH óptimo contenido de humedad del suelo w produce una máxima densidad seca.

Máxima Densidad Seca usando una compactación al OCH.

Compactación Relativa porcentaje entre la densidad seca del suelo y su máxima densidad seca.

Densidad seca – Contenido de humedad relación entre densidad seca y el contenido de humedad bajo un esfuerzo de compactación.

2.7.6 ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento. El hecho de sumergir la muestra se debe a que así podemos prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por tanto después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño "plotter" que nos genera una gráfica donde se nos representa la carga respecto la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra. Esta gráfica suele ser una curva con el tramo inicial

recto y el tramo final cóncavo hacia abajo (si el tramo inicial no es recto se corrige). Una vez tenemos la gráfica miramos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento, tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados.

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:

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

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.

El valor del CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización como base y subrasante bajo pavimentos de, carreteras y aeropistas.

CAPITULO III

METODOLOGIA

TOMA DE MUESTRAS COMBINADAS AL 50% CADA UNA

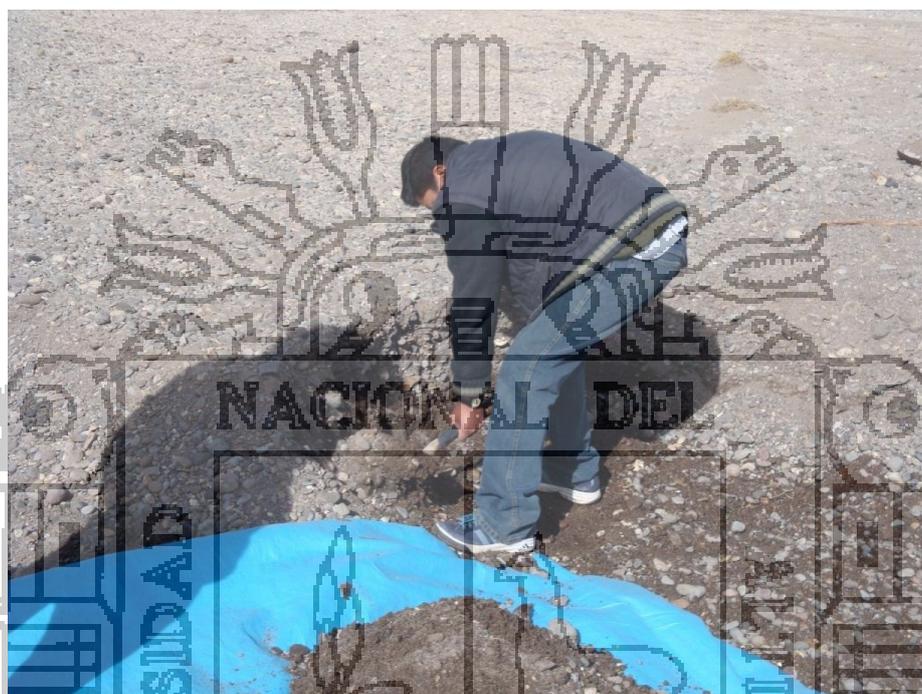


Figura 9. Toma de muestras de la cantera de río Unocolla.



Figura 10. Toma de muestras de la cantera Taparachi.



Figura 11. Vista Panorámica de la Cantera de Taparachi.

3.1 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

OBJETIVO DEL ENSAYO

El presente ensayo tiene por objeto determinar el límite líquido de un suelo mediante la elaboración de una curva de flujo, resultado de la determinación de tres puntos con la ayuda del equipo de Casagrande. Que posee la combinación al 50% de las dos muestras extraídas de las

Canteras de Taparachi y el río Unocolla, perteneciente al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de definir el tipo de suelo del área de estudio, se realizaron la recolección de muestras de las dos canteras a cielo abierto.

MUESTREO

De cada uno de las dos canteras se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

MATERIALES Y EQUIPOS

Un Plato de porcelana, preferentemente sin esmaltar o similar para el mezclado, de aproximadamente 115 mm. de diámetro.

Una espátula o cuchillo que tenga una hoja aproximadamente de 75 mm a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho con punta redonda.

Cuchara de Casagrande, operada manual o mecánicamente, es un dispositivo que consiste en un plato de latón y carruaje calibrada para una altura de caída de 10 mm.

Ranurador, Puede ser plato o encorvado (según normativa).

Calibrador, unido al ranurador o separado, conforme a las dimensiones de de 10 mm de espesor.

Balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg.

Horno. Fuente de Calor capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

9 Recipientes o tarros. Se utiliza para introducir las muestras en el horno.

Tamiz N° 40 de la serie ASTM. Para seleccionar las muestras y que tengan casi un mismo tamaño.

Agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

De la Muestra la cantidad usada es aproximadamente 100 g pasa la malla 40 de la muestra original, previamente secada al aire el cual se coloca en el plato de porcelana.

Ubique la muestra dentro de un recipiente adecuado que permita mezclarlo con agua.

Agregar de 15 a 20 ml de agua destilada removiendo alternada y repetidamente, amasando y cortando con la espátula a fin de homogenizar la muestra. Se efectúa incrementos de agua de 1 a 3 ml.

Colocar la muestra en un recipiente que impida la evaporación (funda plastica) hasta que se sature la muestra por un tiempo mínimo de 16 horas.

Cuando el suelo y el agua formen una masa consistente, ubique una porción en el recipiente del equipo de Casagrande, con la ayuda de la espátula verifique que el nivel de la muestra de suelo no supere el borde del recipiente y que el nivel máximo entre la base del recipiente y el suelo sea de 10 mm. El exceso de suelo retírelo y retórnelo al recipiente donde está realizando la mezcla.

Con la ayuda del ranurador, divide el suelo que está en el recipiente del equipo de Casagrande en dos mitades, mediante un movimiento suave a lo largo del diámetro de éste, de atrás hacia la parte frontal. El movimiento debe ser cuidadoso propiciando la construcción de la ranura en un solo movimiento y de manera que esta llegue hasta el fondo, quede limpia y no se dañen los bordes de las mitades de suelo generadas.

Una vez hecho el surco o ranura, con la ayuda de la manivela del equipo, damos golpes sin parar a la cuchara a una velocidad de 2 golpes/segundo, hasta que las dos mitades se junten 12 mm. Se debe registrar el número de golpes en los cuales se cerró la ranura.

Se remueve del equipo parte de la muestra de suelo, procurando tomarla del sector donde se cerró la ranura. La muestra tomada es llevada a una cápsula, se registra su peso y se somete a secado para determinar su humedad.

Este proceso se repite 3 veces, adicionando agua o extendiendo la muestra para someterla a secado, facilitando así la obtención de otros puntos con diferente humedad y número de golpes.

DATOS Y RESULTADOS.

De la muestra compuesta por las dos canteras al 50% de cada una respectivamente a continuación detallamos los datos de laboratorio:

Tabla 3. Resultados obtenidos

MUESTRA	Masa Prueba	Masa Prueba	Masa Prueba 3

	1	2	
Peso del tarro (T)	26.32	23.33	24.46 g
	g	g	
(T+ SH)	38.43	34.40	36.13 g
	g	g	
(T+SS)	35.72	31.90	33.48 g
	g	g	
$W_w = (T+ SH) - (T+SS)$	2.71 g	2.50 g	2.65 g
$W_s = (T+ SS) - T$	9.40 g	8.57 g	9.02 g
$W\% = (W_w/W_s) * 100$	28.83 %	29.17 %	29.38 %
Numero de Golpes	32	27	18

Fuente (elaboración propia)

ELABORACIÓN DE LA CURVA DE FLUJO

El objetivo de este procedimiento es obtener los puntos suficientes para construir un gráfico con el número de golpes vs. Humedad en escala, obtener una recta e interpolar a los 25 golpes para conocer la humedad, y este valor es el correspondiente al Límite Líquido.

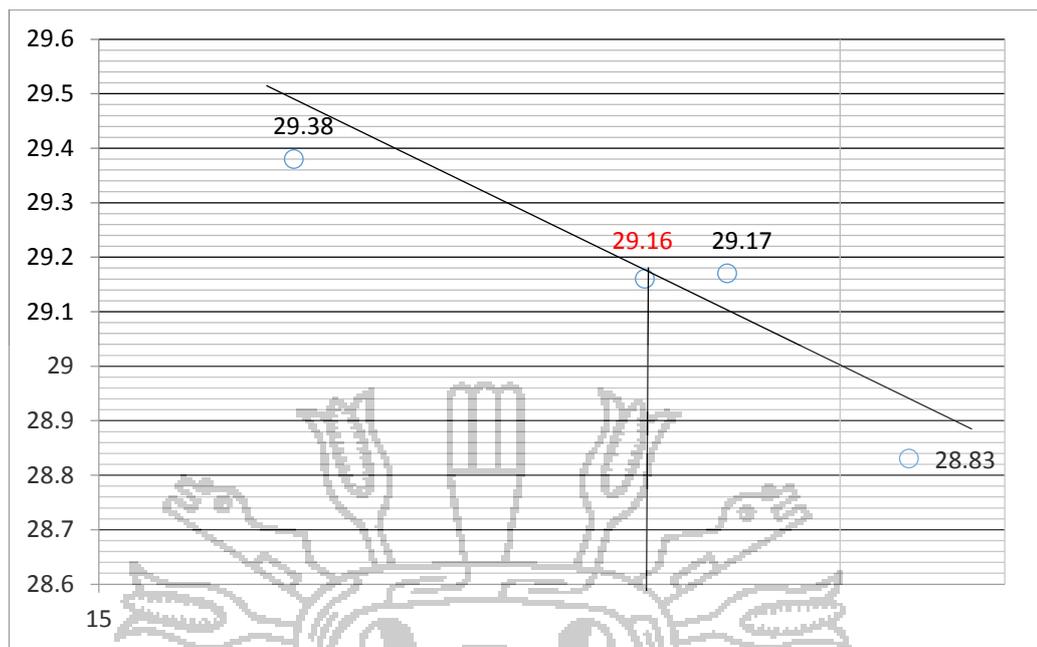


Figura 12. Curva de flujo del límite líquido



Figura 13. Pesado de recipientes vacíos



Figura 14. Usodel ranuradoren la copa de Casagrande

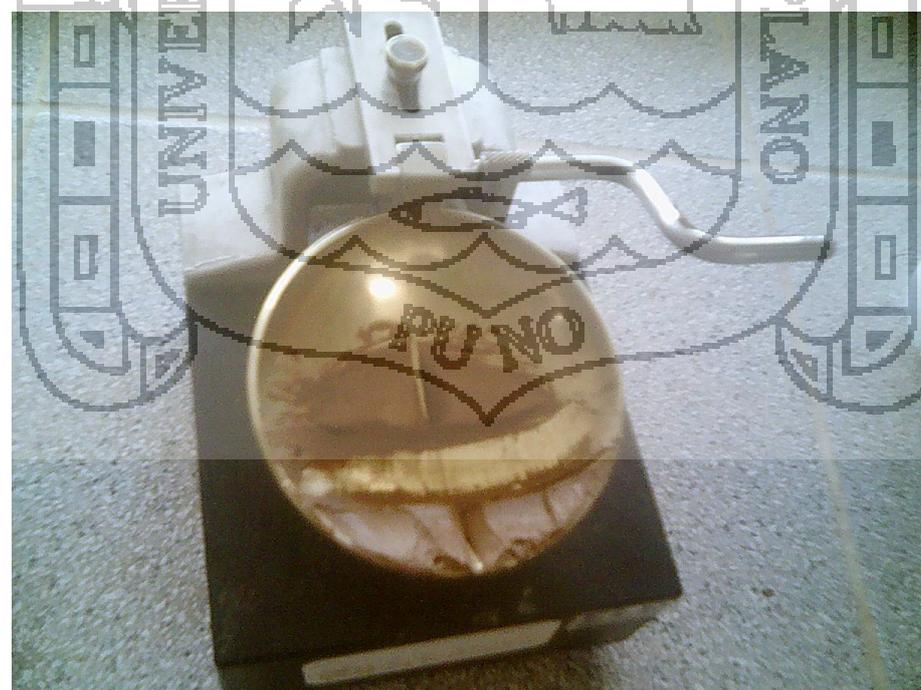


Figura 15. Muestra extraída (lugar donde se aproximaron)



Figura 16. Muestra que será llevada al durante 24 horas

3.2 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICIDAD E ÍNDICE PLÁSTICO

OBJETIVO DEL ENSAYO

El presente ensayo tiene por objeto determinar el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de aproximadamente 3.2 mm de diámetro. Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido. Que posee la combinación al 50% de las dos muestras extraídas de las Canteras de Taparachi y el río Unocolla, perteneciente al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de definir el tipo de suelo del área de estudio, se realizaron la recolección de muestras de las dos canteras a cielo abierto.

MUESTREO

De cada uno de las dos canteras se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

MATERIAL Y EQUIPOS

Una placa de vidrio.

Una espátula o cuchillo que tenga una hoja aproximadamente de 75 mm a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho con punta redonda.

Balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg.

Horno. Fuente de Calor capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

9 Recipientes o tarros. Se utiliza para introducir las muestras en el horno.

Tamiz N° 40 de la serie ASTM. Para seleccionar las muestras y que tengan casi un mismo tamaño.

Agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

Se divide en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra de 20 a 30 gramos de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para el ensayo del límite líquido.

Se debe enrollar el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio, o sobre un pedazo de papel colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro, o hilo de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 golpes o movimientos de mano por minuto (un golpe es igual a un movimiento hacia adelante y hacia atrás). Cuando el diámetro del hilo o cilindro del suelo llegue a 3 mm. (1/8 de pulgada) se debe romper en pequeños pedazos y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse.

El proceso de hacer masas o bolas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el hilo o cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se enrolle adicionalmente.

Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a tres milímetros, ésta condición es satisfactoria para definir el límite plástico si el cilindro se había enrollado con anterioridad hasta más o menos tres milímetros. La falla del cilindro se puede definir del siguiente modo:

- a) Simplemente por separación en pequeños pedazos
- b) Por desprendimiento de escamas de forma tubular (cilindros huecos) de entro hacia afuera del cilindro ó hilo de suelo.
- c) Pedacitos sólidos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo (para arcillas altamente plásticas).

Para producir la falla no es necesario reducir la velocidad de enrollado y/o la presión de la mano cuando se llega a 3 mm de diámetro. Los suelos de muy baja plasticidad son una excepción en éste sentido, en estos casos la

bola inicial debe ser del orden de 3 mm antes de empezar a enrollar con la mano.

Esta secuencia debe repetirse el número de veces para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan llenar un recipiente de humedad.

Pesar el recipiente cubierto, y colocarlo dentro del horno. Nótese que en efecto se han hecho varias determinaciones del límite plástico, pero se ha reducido el proceso de pesada y cálculo a un sólo ensayo.

DATOS Y RESULTADOS

De la muestra compuesta por las dos canteras al 50% de cada una respectivamente a continuación detallamos los datos de laboratorio:

Tabla 4. El límite plástico será: 20.74%

MUESTRA	Masa Prueba 1	Masa Prueba 2	Masa Prueba 3
Peso del tarro (T)	23.10 g	22.01 g	23.67 g
(T+ SH)	26.06 g	26.55 g	26.26 g
(T+SS)	25.57 g	25.70 g	25.84 g
$W_w = (T+ SH) -$ $(T+SS)$	0.49 g	0.85 g	0.42 g
$W_s = (T+ SS) - T$	2.47 g	3.69 g	2.17 g

$W\% = (Ww/Ws) * 100$	19.84 %	23.03 %	19.35%
-----------------------	---------	---------	--------

Fuente (elaboración propia)

RESULTADO FINAL DEL ÍNDICE PLÁSTICO

De la combinación de las dos muestras a continuación los resultados de índice plástico:

$$IP = LL - LP = 29.16\% - 20.74\% = 8.42\%$$

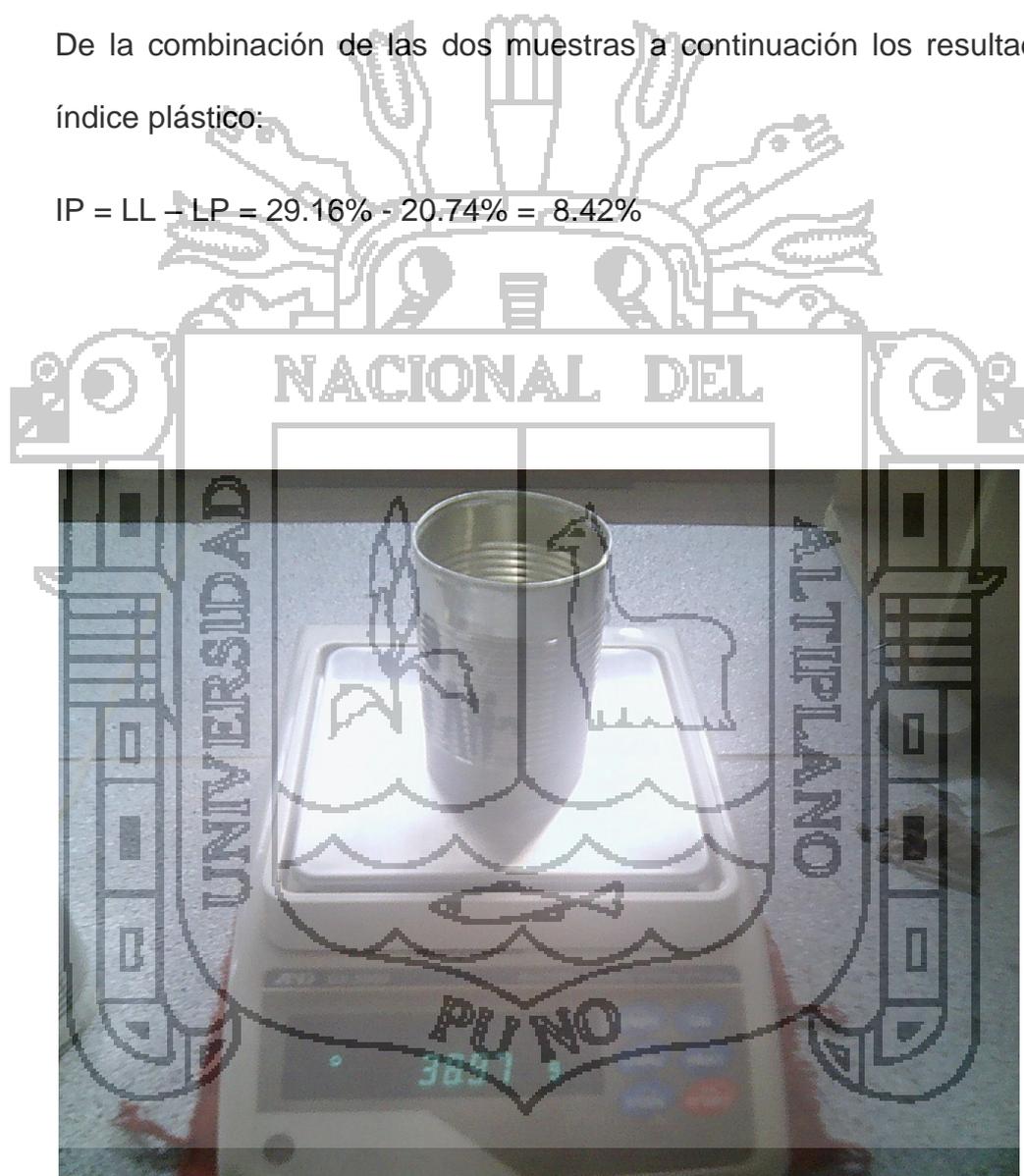


Figura 17. Pesado de recipiente vacío



Figura 18. Muestra en proceso de saturación en 24 horas



Figura 19. Rollado del material diámetro aproximado de 3.2 mm y hasta que exista fisura

3.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

OBJETIVO DEL ENSAYO

El presente ensayo del análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo y en función de lo anterior clasificar el suelo de acuerdo a su gradación.

Que posee la combinación al 50% de las dos muestras extraídas de las Canteras de Taparachi y el río Unocolla, perteneciente al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de definir el tipo de suelo del área de estudio, se realizaron la recolección de muestras de las dos canteras a cielo abierto.

MUESTREO

De cada uno de las dos canteras se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

MATERIAL Y EQUIPOS

Tamiz N° 4 y Tamiz N° 200 (para el lavado de la muestra).

Tamices 3", 2 ½", 2", 1½", 1" ¾", ½, 3/8", N°4, 10, 20, 40, 50, 100, 200 y fondo.

Balanza o báscula con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0,05 kg.

Horno. Fuente de Calor capaz de mantener una temperatura de 100°C - 110°C.

Recipientes. Se utilizaran para introducir las muestras en el horno.

Agua potable.

Muestras del suelo en estudio.

Bandejas.

PROCEDIMIENTO

MÉTODO ANÁLISIS MECÁNICO

a) Material mayor que el tamiz N°. 4

El material retenido en el tamiz N°. 4, se pasa a través de los tamices, 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°. 4 y fondo, realizando movimientos horizontales y verticales.

Pese las fracciones retenidas en cada tamiz y anótela en el registro correspondiente.

b) Material menor que el tamiz N°. 4

Ponga a secar la muestra en el horno a una temperatura de 105 a 110° C por un período de tiempo de 12 a 24 horas.

Deje enfriar la muestra a temperatura ambiente y pese la cantidad requerida para realizar el ensaye.

Si el suelo es arenoso se utiliza aproximadamente 200 gr.

Si el suelo es arcilloso se utiliza aproximadamente 150 gr.

Disgregue los grumos (terrones), del material con un pisón de madera para evitar el rompimiento de los gramos.

Coloque la muestra en una tara, agréguele agua y déjela remojar hasta que se puedan deshacer completamente los grumos.

Se vacía el contenido de la tara sobre el tamiz N°. 200, con cuidado y con la ayuda de agua, lave lo mejor posible el suelo para que todos los finos pasen por el tamiz. El material que pasa a través del tamiz N°. 200, se analizará por otros métodos en caso sea necesario.

El material retenido en el tamiz N°. 200 después de lavado, se coloca en una tara, lavando el tamiz con agua.

Se seca el contenido de la tara en el horno a una temperatura de 100 – 110° C por 24 horas.

Con el material seco en el paso anterior, se coloca el juego de tamices en orden progresivo, N°. 4, No. 10, No. 40, No. 200 y al final el fondo, vaciando el material previamente pesado.

Se agita el juego de tamices horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes secos de vez en cuando. El tiempo de agitación depende de la cantidad de finos de la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.

Inmediatamente realizado el paso anterior pese las fracciones retenidas en cada tamiz, y anótela en el registro correspondiente.

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. 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. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

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 %.

DATOS Y RESULTADOS.

En el análisis por tamices se obtienen los resultados de pesos parciales retenido en cada uno de ellos.

Después se calcula los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos, los porcentajes que pasan por cada tamiz.

Es conveniente presentar resultados en forma gráfica que tabular.

La presentación gráfica se efectúa por medio de la curva granulométrica, que es la curva de los porcentajes que pasa por cada tamiz, esta curva se gráfica en un papel de escala semilogaritmico. En las ordenadas (escala natural del papel) se anotan los porcentajes que pasa y en las abscisas (escala logarítmica del papel) se anotan los diámetros de los tamices en milímetros.

A partir de la curva granulométrica se puede deducir en primera instancia el tipo de suelo principal y los componentes eventuales.

Se puede encontrar el diámetro efectivo de los granos (D10); que es el tamaño correspondiente al 10% en la curva granulométrica y se designa como D10.

Otros tamaños definidos estadísticamente que son útiles incluyen D60; D30.

La uniformidad del suelo se puede definir estadísticamente de varias maneras, un índice antiguo pero útil, es el coeficiente de Uniformidad C_u que se define.

De la muestra compuesta por las dos canteras al 50% de cada una respectivamente a continuación detallamos los datos de laboratorio en la hoja de datos respectiva:

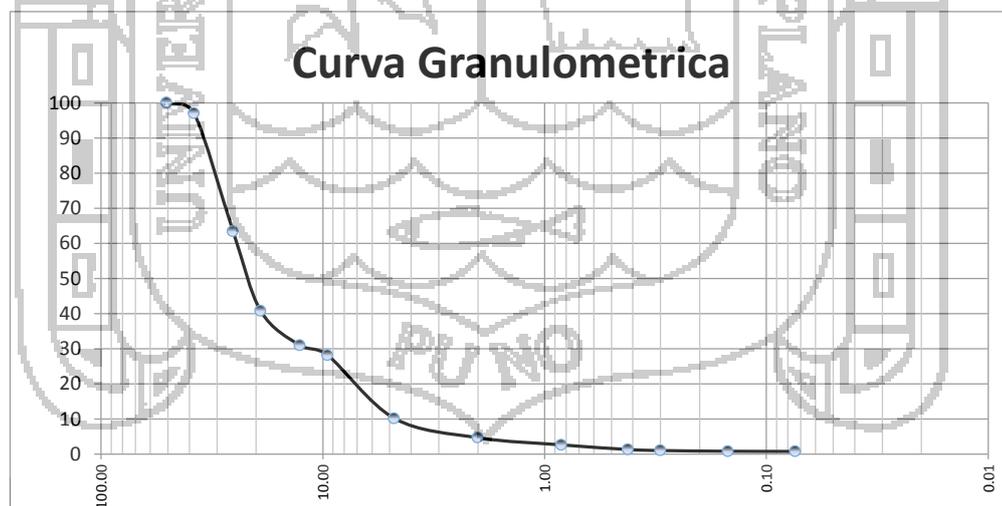


Figura 20. Curva granulométrica

SUCS

1.- Fino o Grueso → % que pasa la malla 200%

0.74% Grueso

2.- Grava o Arena → % que pasa la malla N° 4

10.5% Grava

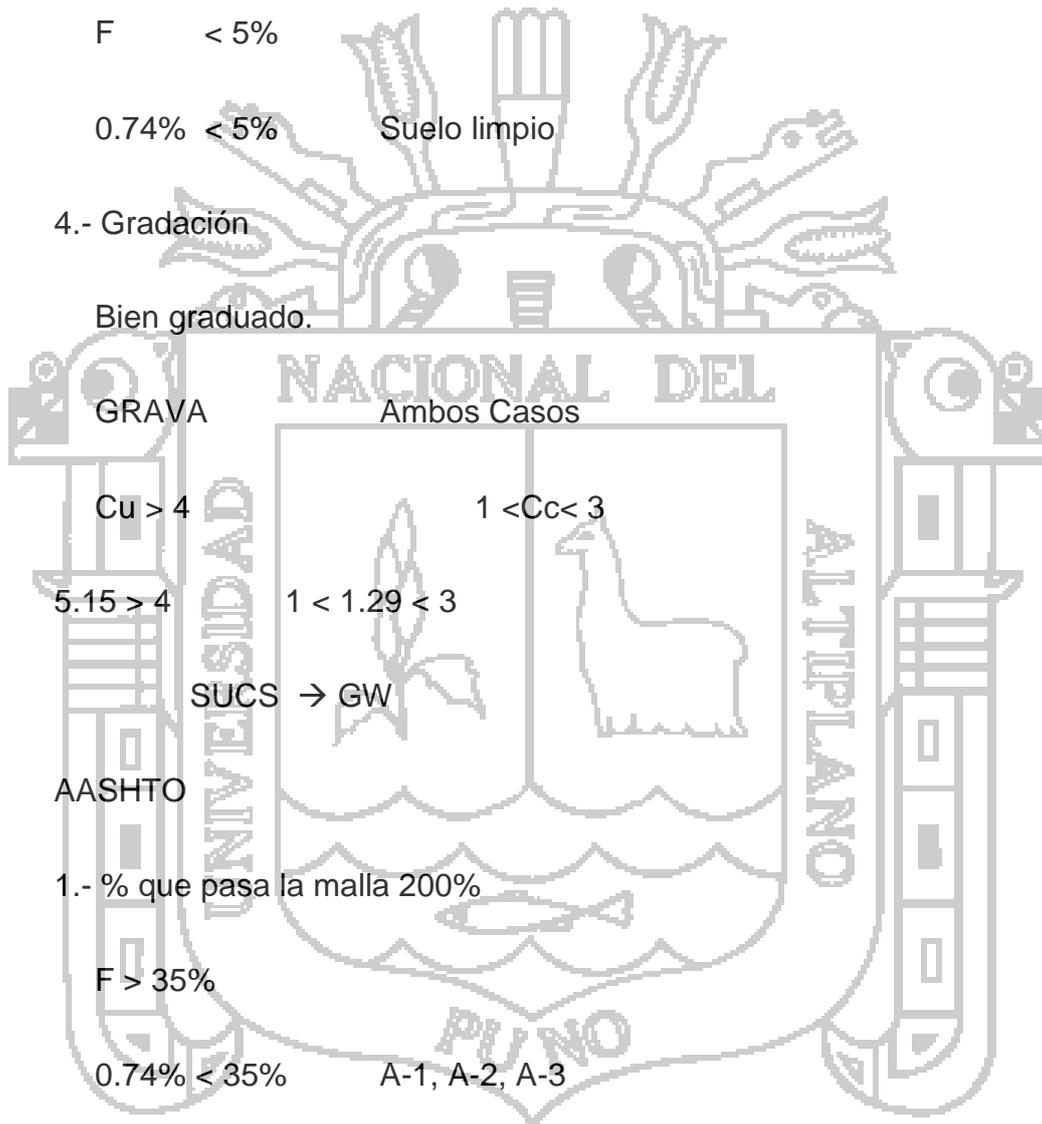
3.- Limpio, dual o con Finos

F < 5%

0.74% < 5% Suelo limpio

4.- Gradación

Bien graduado.



GRAVA

Ambos Casos

$C_u > 4$

$1 < C_c < 3$

$5.15 > 4$

$1 < 1.29 < 3$

SUCS → GW

AASHTO

1.- % que pasa la malla 200%

F > 35%

0.74% < 35%

A-1, A-2, A-3

2.- Índice plástico

IP = 8.42

8.42 < 10

A-2-4, A-2-5

3.- Limite líquido.

$$LL = 29.04$$

$$29.04 < 40 \quad A-2-4$$

4.- Índice de Grupo IG

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

$$IG = (0.74-35)(0.2+0.005(29.04 - 40)) + 0.01(0.74 - 15)(8.42 - 10)$$

$$IG = -4.75$$

$$AASHTO \rightarrow A-2-4 (0)$$

RESULTADO FINAL DE LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO

De la combinación de las dos muestras a continuación detallamos los resultados:

Clasificación SUCS: GW

Clasificación ASSTHO: A-2-4 (0)

Cu: 5.15

Cc: 1.29

Respecto al Cu ya que es alto nos indica que difieren los diámetros apreciablemente.

Respecto al Cc como resultado ser mayor a 1.0 nos indican que faltan una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D10 y al D60.

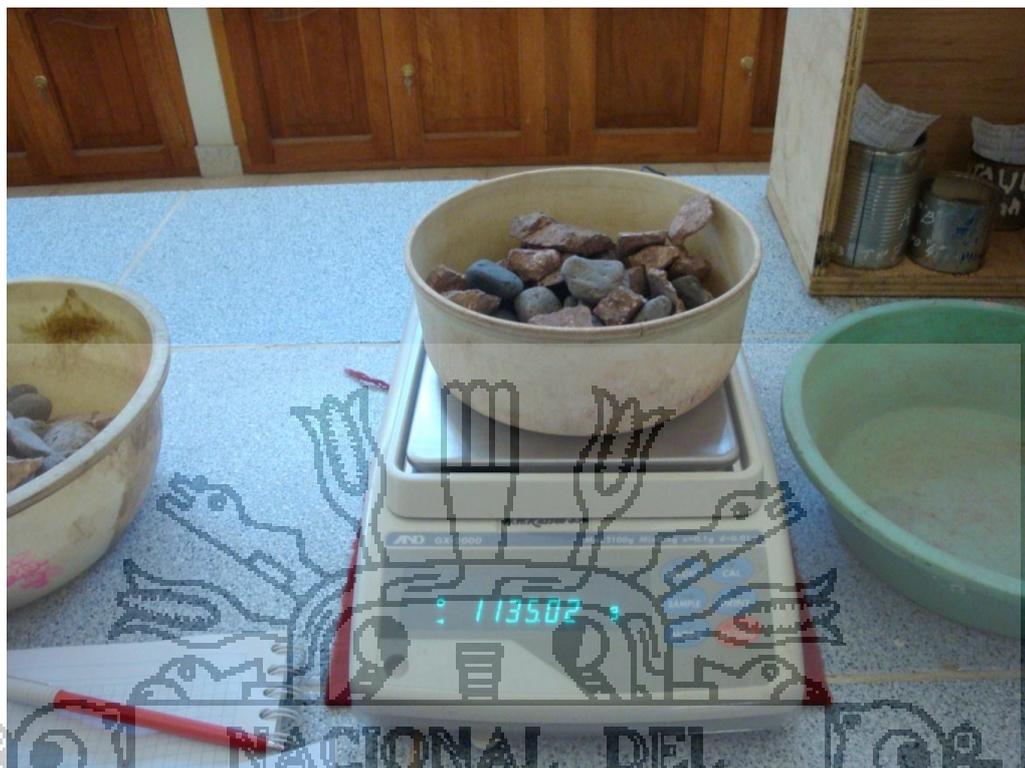


Figura 21. Pesaje del material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "



Figura 22. Muestras a combinar al 50% posteriormente



Figura 23. Tamizado de las muestras

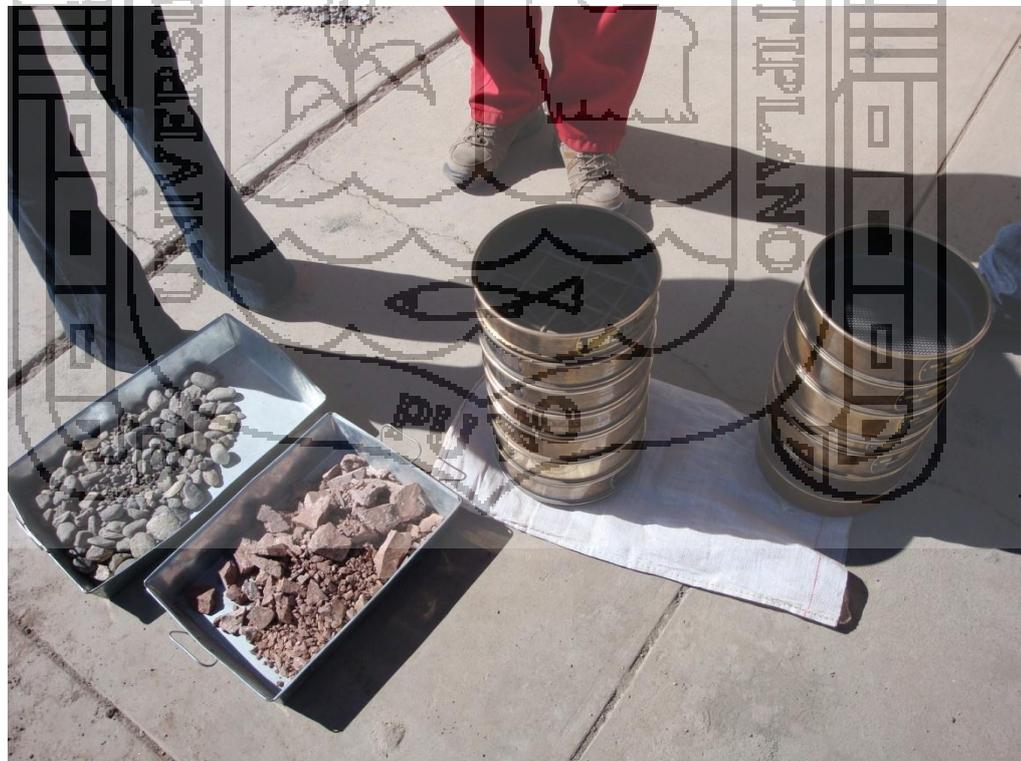


Figura 24. Muestras para tamizadas

3.4 ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES

OBJETIVO DEL ENSAYO

El presente ensayo tiene por objeto determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm y agregados gruesos de tamaños mayores de $\frac{3}{4}$ " por medio de la máquina de los ángeles. Que posee la combinación al 50% de las dos muestras extraídas de las Canteras de Taparachi y el río Unocolla, perteneciente al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de definir el tipo de suelo del área de estudio, se realizaron la recolección de muestras de las dos canteras a cielo abierto.

MUESTREO

De cada uno de las dos canteras se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

MATERIAL Y EQUIPOS

Máquina de los Ángeles.

Tamices de los siguientes tamaños: 3", 2 ½", 2", 1½", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", 3/8", $\frac{1}{4}$ ", No 4. N° 8 y un tamiz N° 12 para el cálculo del desgaste.

Horno de 100°C – 110°C

Balanza con precisión de 0.01gr.

Esferas de acero, de 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 y 444gr.

Recipientes para clasificación.

PROCEDIMIENTOS

Se mide unos 5000 gr. de muestra seca con una aproximación de 1 gramo y se coloca junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta que la velocidad angular es constante.

Después se retira el material del cilindro y luego se hace pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la Norma ICONTEC 77. El material retenido en el tamiz #12 debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 °C y 110 °C. Al día siguiente se cuantifico la muestra eliminando los finos y luego fue pesada.

DATOS Y RESULTADOS

Peso de la Muestra seca del agregado (Pa) = 5001.87 gr.

Tabla 6. Tipo A 12 esferas 500 vueltas

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr) Taparachi	PESO RETENIDO (gr) Rio Unocola
1 ½"	632.80	622.25
1"	626.00	623.31
¾"	624.18	624.28
½"	624.90	624.15
Total	2507.88	2493.99

Fuente (elaboración propia)

Peso seco del ensayo lavado sobre el tamiz #12 (Pb) = 3844.5 gr.

Porcentaje de desgaste = $([Pa - Pb] / Pa) * 100$

Porcentaje de desgaste = $([5001.87 - 3844.50] / 5001.87) * 100$

Porcentaje de desgaste = 23.14%



Figura 25. Pesaje de la muestra combinada salida de la máquina de los ángeles

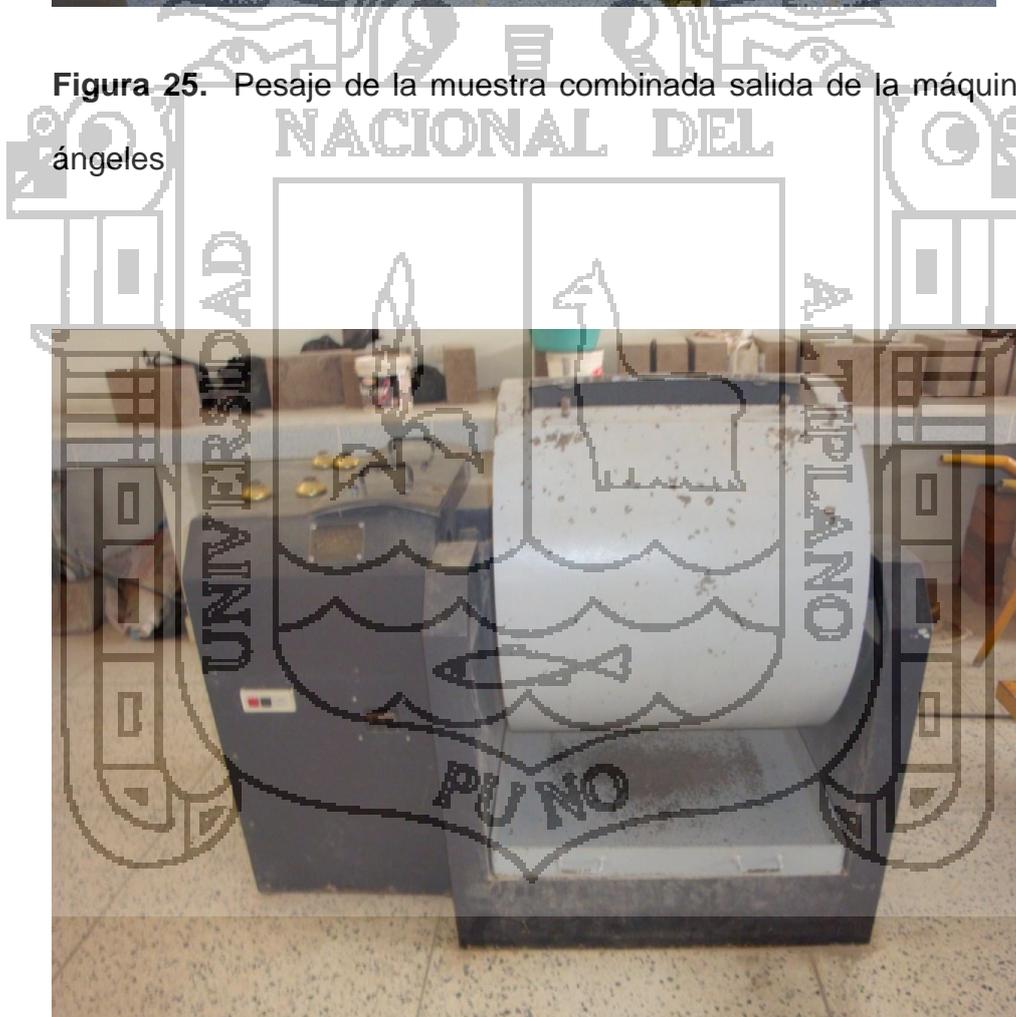


Figura 26. Máquina de los Ángeles



Figura 27. Muestra en el horno

3.5 ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

OBJETIVO DEL ENSAYO

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19,0 mm).

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado.

Que posee la combinación al 50% de las dos muestras extraídas de las Canteras de Taparachi y el río Unocolla, perteneciente al Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de definir el tipo de suelo del área de estudio, se realizaron la recolección de muestras de las dos canteras a cielo abierto.

MUESTREO

De cada uno de las dos canteras se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

MATERIAL Y EQUIPOS

Molde de Compactar y su collarín.

Pisón de Compactar.

Horno de 100°C – 110°C

Balanza con precisión de 0.01gr.

Regla metálica.

Espátula.

Tamices $\frac{3}{4}$ ".

PROCEDIMIENTOS

Para Obras viales se utiliza el MÉTODO C:

Molde: 6" de diámetro.

Material: se emplea el material que pasa por el tamiz de 3/4"

Capas: 5

Golpes por capa: 56

Uso: cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8" y menos del 30% de peso de material es retenido en el tamiz 3/4".

Por ello que en el presente ensayo se utilizó el método C:

Determinar y anotar la masa del molde o molde y el plato de base.

Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El método de enlace o unión al cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para

la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4 pulg (6 mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4 pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas (101,6 mm) ó 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen,

presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde.

Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 gr del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad.

Después de la compactación del último espécimen, comparar los Pesos Unitarios Húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y Plotear el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo peso unitario seco.

DATOS Y RESULTADOS

En el presente ensayo se realizó la prueba con 5 muestras combinadas al 50% de las canteras de Taparachi y río Unocolla de 5500 gramos, cada una con un porcentaje de agua al 2% , 4%, 6%, 8% y 10%, respectivamente.

Los cálculos del contenido de humedad, densidad húmeda y la densidad seca del suelo compactado para cada ensayo son como sigue:

$$w = (A - B) * 100 / (B - C).$$

$$W1 = \text{Peso de la muestra} / \text{Volumen}$$

$$W = W1 * 100 / (w + 100)$$

Dónde:

w = contenido de humedad

A = peso del recipiente y suelo húmedo

B = peso del recipiente y suelo seco.

C = peso del recipiente.

W1 = densidad humedad en kg/m³ del suelo compactado

W = densidad seca en kg/m³ del suelo compactado.





	2%	4%	6%	8%	10%	
Volumen del Molde	2100	2100	2100	2100	2100	
Peso del Molde	6341	6341	6341	6341	6341	
P. SH + Molde	10601	10670	10848	10995	10974	
Peso SH	4260	4329	4507	4654	4633	
Densidad Húmeda	2.03	2.06	2.15	2.22	2.21	
	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abajo
	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo
P. SH + Capsula	272.96	248.06	212.42	215.12	215.47	230.71
	280.97	253.44	218.69	206.3		

P. SS + Capsula	266.07	273.6	240.37	245.03	202.86	208.27	202.41	193.65	200.3	216.78
Peso Agua	6.89	7.37	7.69	8.41	9.56	10.42	12.71	12.65	15.17	13.93
Peso Capsula	22.81	22.96	23.44	22.97	23.48	23.04	23.13	23.52	23.01	22.71
P. SS	243.26	250.64	216.93	222.06	179.38	185.23	179.28	170.13	177.29	194.07
% Humedad	2.83	2.94	3.54	3.79	5.33	5.63	7.09	7.44	8.56	7.18
Promedio de Humedad	2.89		3.67		5.48		7.26		7.87	
Densidad SS	1.97		1.99		2.03		2.07		2.05	

Tabla 7.Ensayo de Proctor Modificado 5 ensayos realizados

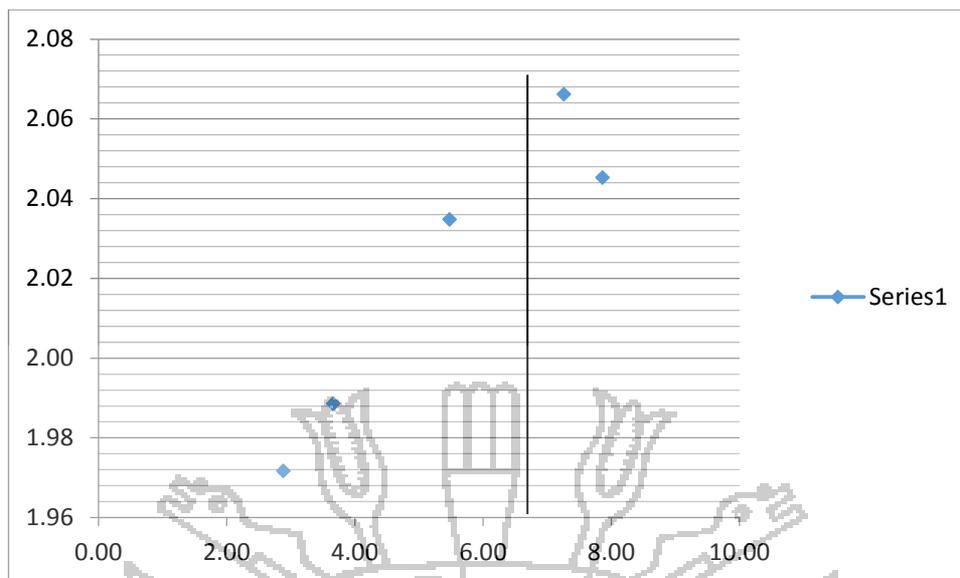


Figura 28. Máxima Densidad Seca de:

2.07 gr/cc

Contenido Optimo de Humedad de: 6.5%

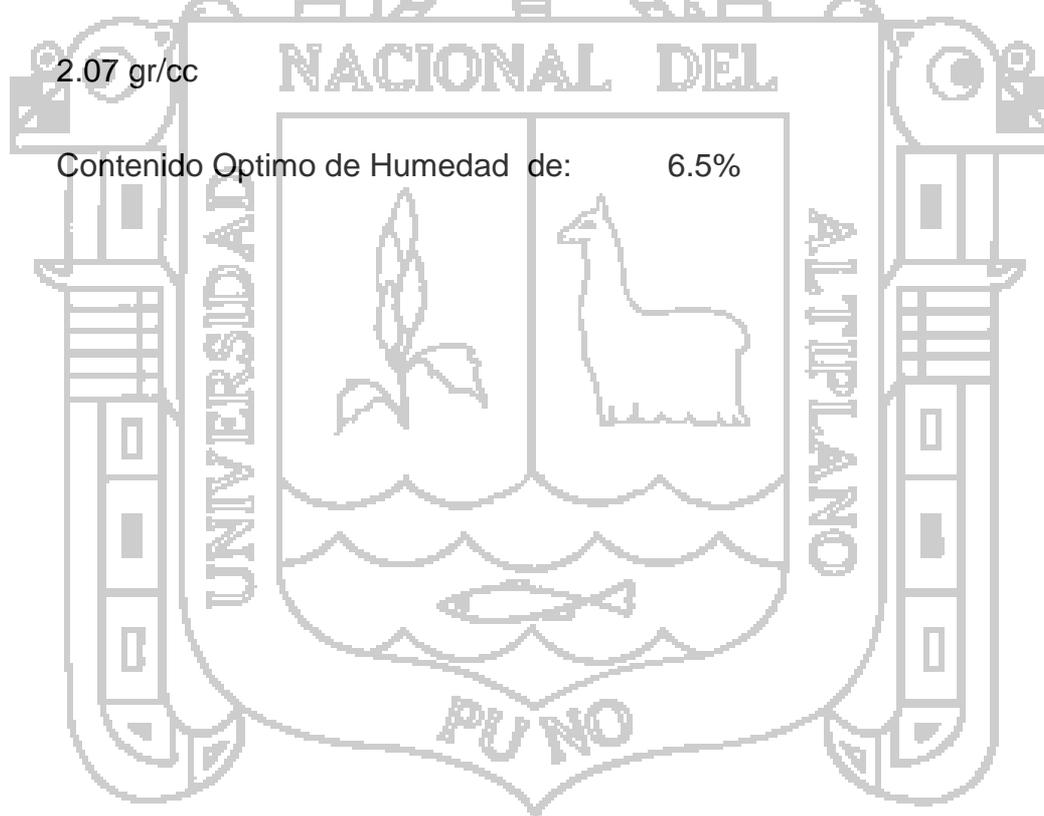




Figura 29.5 muestras antes de realizar el proceso de compactación



Figura 30. Vista de la división de la muestra para las cinco capas



Figura 31. Proceso de compactado de una de las muestras



Figura 32. Pesaje del molde más muestra húmeda compacto



Figura 33. Compactación de una de las muestras

3.6 ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA CBR

OBJETIVO DEL ENSAYO

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.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento.

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

MATERIAL Y EQUIPOS

Equipo de CBR:

Molde de compactación (con collar y base)

Disco espaciador

Martillo de compactación

Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de mm

Pesos para sobrecarga

Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/min

Horno

Balanza

Tamices

PROCEDIMIENTOS

Descripción de materiales:

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.

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).

Pesar los moldes sin su base ni el collar.

Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.

Probetas de 5 capas cada una: 2 de 12 golpes por capa, 2 de 25 golpes por capa y 2 de 56 golpes por capa; dejar saturando una muestra de 12, de 25 y de 56 golpes por capa.

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.

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.

dejar saturando una muestra de 12, de 25 y de 56 golpes por capa.

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).

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.

DATOS Y RESULTADOS

Tabla 8. Presión geostatica

1.- Calculo de la presión GEOSTATICA	
Suelos no coh	UNIDADES
$T^{\circ} = \text{prof. (m)} / 10$	Kg/cm ²
$T^{\circ} = \text{prof. (m)} \times 0.2063$	Ksf

$T^{\circ} = \text{prof. (m)}$	tn/m ²

Fuente(elaboración propia)

Tabla 9. Corrección de cálculos

2.- CALCULOS DE LAS CORRECCIONES	
Suelos no coh	UNIDADES
$N1 = (1/T^{\circ}) \times \frac{1}{2} \times N$	Kg/m ²
$N2 = (0.77 \times \log(200/t^{\circ})) \times N$	Ksf
$N3 = (4 \times N / 1 + (2 \times t^{\circ}))$	
$N4 = (N + 15 / 2)$	
DONDE:	
N = Numero de golpes	T [°] = Presión GEOSTATICA

Fuente (elaboración Propia)

Tabla 10. Calculo de densidades relativas

4.- CALCULO DE LAS DENSIDADES RELATIVAS (DR%)
DENSIDAD RELATIVA
CUADRO N° 01

VALOR N		DR(%)	
0	4	0	15
5	10	15	33
11	30	33	67
31	50	67	85
	50	85	100



Fuente (elaboración Propia)

Figura 36. Muestras sumergidas



Figura 37. Realización de la penetración

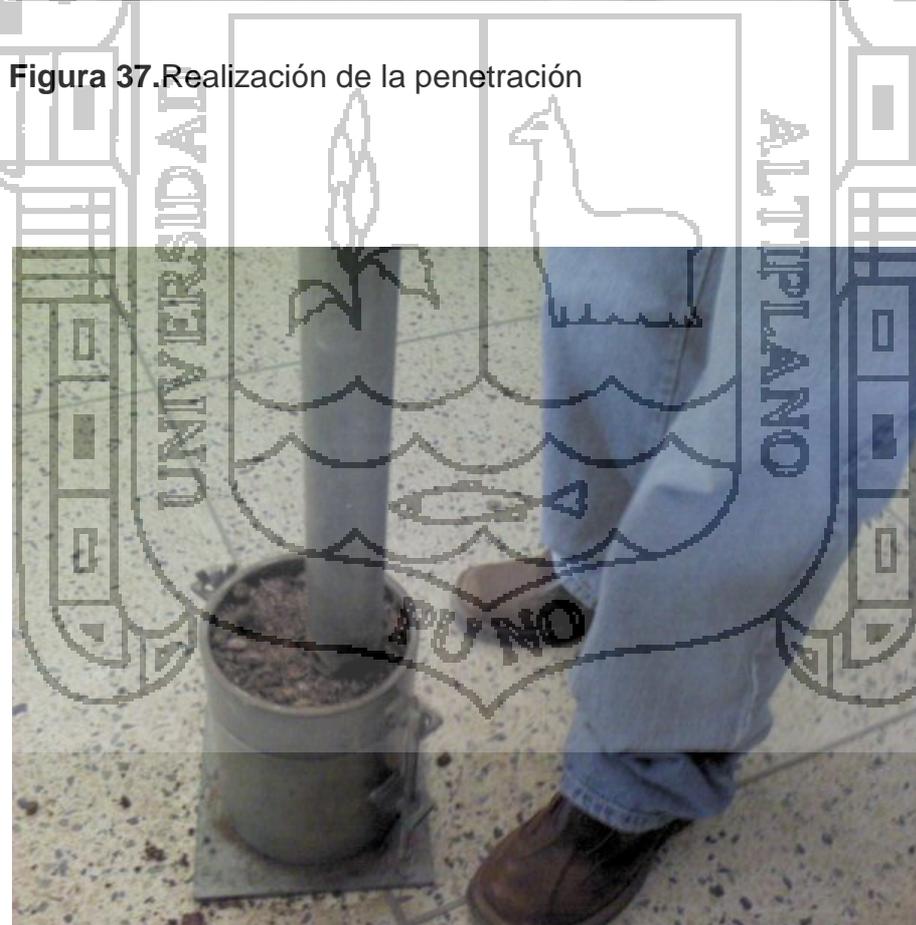


Figura 38. Momento del proceso de compactación

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA DE MATERIAL GRANULAR Y DESECHO DE PVC

Teniendo en cuenta que el material granular cumple con las exigencias de una subbase para conformar estructuras de un pavimento, y con el fin de observar los cambios que produciría el adicionar desecho de PVC en su comportamiento, específicamente en su resistencia, se realizaron mezclas de diferentes proporciones de material natural y desecho (1%, 3% y 5%).

Las diferentes proporciones correspondían al porcentaje en peso de aditivo con respecto al peso total de la muestra. Se desarrolló un estudio comparativo para determinar los efectos que produce el PVC en el CBR del material granular, haciendo observaciones adicionales en el laboratorio, como cambios en plasticidad, color, etc.

En la tabla, se pueden observar los resultados finales calculados con base en el presente análisis comparativo del CBR para el material sin adición y del material mezclado en los porcentajes mezclados (1, 3 y 5% de desecho

de PVC). La figura presenta el análisis comparativo del peso unitario obtenido para el material natural y mezclado.

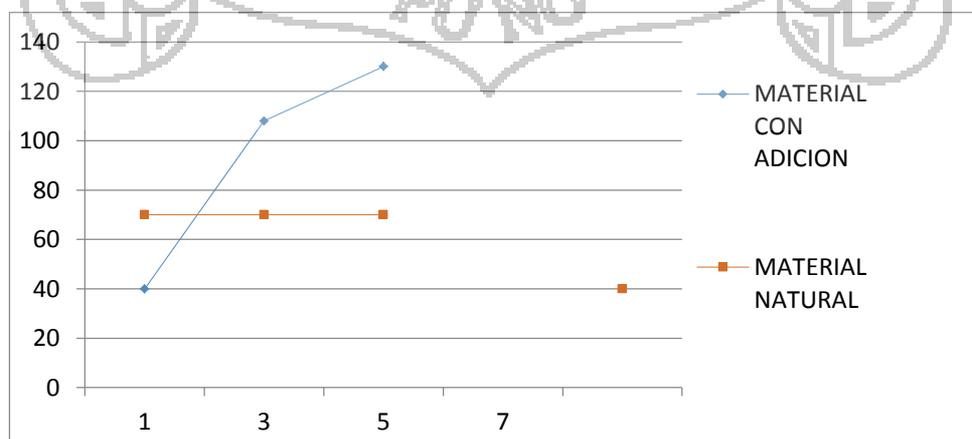
Para los análisis respectivos, se toma el valor correspondiente a 55 golpes, por ser este número el valor representativo del ensayo según la norma.

Tabla 11. Resultados de la mezcla adicionada

PROPIEDAD	N° GOLPES	SIN ADITIVO	CON 1%	CON 3%	CON 5%
HUMEDAD (%)	55	7.68	6.85	7.89	6.48
	26	7.70	6.72	7.45	7.56
	12	7.29	6.18	7.38	7.23
PESO UNITARIO (g/cm ³)	55	2.07	2.08	1.99	2.04
	26	2.00	1.97	1.96	1.96
	12	1.84	1.95	1.86	1.84
CBR (%)		70.67	40.79	106.67	129.97

Fuente(elaboración propia)

Figura 39. Relación de %CBR y % aditivo



Fuente (elaboración propia)

Como se observa en la figura 39, el comportamiento del material granular (tipo subbase) estabilizado mejora su resistencia en comparación con el original, al adicionar el 3% y 5% de desecho de PVC. En el caso de la adición de 1%, se obtuvo un CBR inferior al obtenido al material granular tipo subbase natural, posiblemente porque en este caso se genera algún tipo de reacción química. Con el 1.8% se observa un CBR equivalente al del material natural incrementándose a partir de este valor.

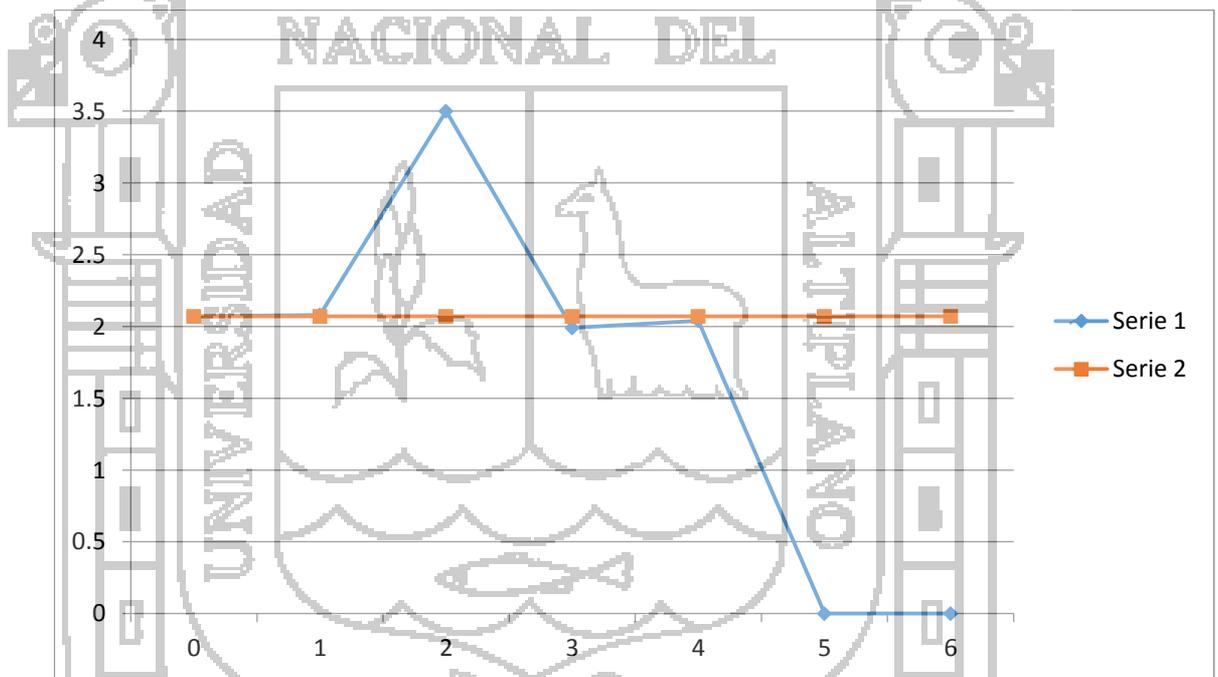


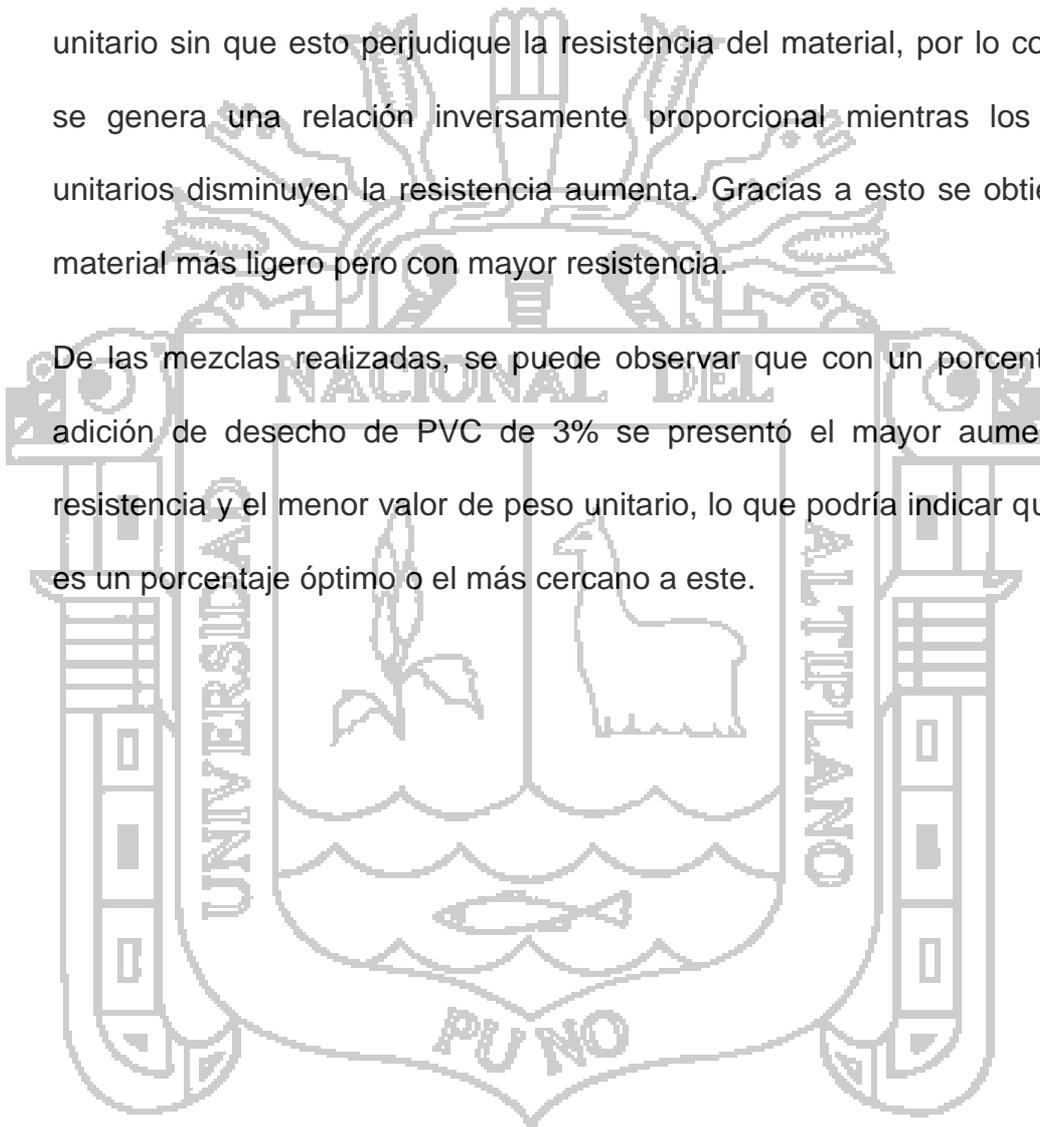
Figura 40. Peso unitario obtenido para cada proporción de desecho de PVC utilizado

En el caso del peso unitario, haciéndose más notorio en los porcentajes de 3 y 5% y más significativo en el de 3%.

De la misma forma que en la figura 40, existe un porcentaje de aditivo de 1.2%, para el cual el peso unitario es igual al de la muestra original, siendo este el valor donde comienza a influir el aditivo en las propiedades del material.

Se puede analizar que con el uso del aditivo tiende a disminuir el peso unitario sin que esto perjudique la resistencia del material, por lo contrario se genera una relación inversamente proporcional mientras los pesos unitarios disminuyen la resistencia aumenta. Gracias a esto se obtiene un material más ligero pero con mayor resistencia.

De las mezclas realizadas, se puede observar que con un porcentaje de adición de desecho de PVC de 3% se presentó el mayor aumento de resistencia y el menor valor de peso unitario, lo que podría indicar que este es un porcentaje óptimo o el más cercano a este.



CONCLUSIONES

El desecho de PVC se cataloga como un producto resistente que no se ve afectado por humus, líquidos corrosivos, soluciones acidas, soluciones básicas, soluciones salinas, solventes y productos químicos; además, es resistente a las agresiones producidas por el medio ambiente.

Las características propias del material estudiado proporcionan al material estabilizado, un mejor comportamiento ante los ataques que enfrenta cuando es usado para conformar estructuras de pavimentos.

En el desarrollo del proyecto se determinó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CRB de un material granular de tipo subbase a partir del 1.8%, caso en el cual mantiene las propiedades originales.

Cuando se utilizaron porcentajes iguales o mayores al 3%, la resistencia aumento y el peso unitario disminuyo.

La mezcla analizada de material granular y desecho de PVC, cumplió con los requerimientos de resistencia exigidos en pavimentos y proporciona una superficie de apoyo a la base granular o a la loza de concreto y aligera el peso que debe soportar la subrasante.

RECOMENDACIONES

Se recomienda siempre analizar y buscar nuevas canteras para poder experimentar nuevos ensayos y así de esa manera poder desarrollar a la región.

La mezcla analizada de material granular y desecho de PVC, cumplió con los requerimientos de resistencia exigidos en pavimentos y proporciona una superficie de apoyo a la base granular o a la losa de concreto y aligerar el peso que debe soportar la subrasante.

Al realizar los ensayos se recomienda usar los equipos apropiados para cada prueba.

Estos resultados son solamente afectos a las canteras indicadas y no a otras canteras es por ello que se recomienda seguir realizando pruebas con diferentes tipos de suelos, ya que cada cantera cuenta con su respectivo tipo de suelo.

Las adiciones de desecho de PVC se realizaron arbitrariamente no siendo este un valor que no se pueda variar, se recomienda hacer otras pruebas para variar el porcentaje de desecho para conseguir resultados diferentes a este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. ABRIL, N. & CASTRILLÓN, L. 1993. Estabilización de recebos con emulsiones asfálticas: una alternativa expedita para producir bases competentes. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C.
2. AGUIRRE, C. & VELEZ, M. 2005. Estabilización de subbases granulares empleando desecho de PVC. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 94 p.
3. AMAYA, C., RODRÍGUEZ, G. & VALDEZ, J. 1978. Estabilización de suelos con cal y ceniza. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C.
4. AREIZAGA, J., CORTAZAR, M. & ELORSA, J. 1992. Polímeros. Madrid: Editorial Síntesis.
5. BARRAGAN, N. & CONTRERAS, Y. 1994. Estabilización de materiales granulares marginales con crudo de castilla. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C.
6. BRAJA M. DAZ. mecánica de suelos avanzada.
7. CAICEDO, L. & HERRERA, O. 2004. Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C.

8. GÓMEZ, R., MORENO, C. & REYES, H. 1983. Estabilización de materiales con aditivos convencionales y no convencionales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado.
9. GONZALEZ, L., CARDENAS, J. & PARRADO, G. 2001. Materiales de construcción para la Sabana de Bogotá. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero-Ambiental y Nuclear. INGEOMINAS. Bogotá D. C.
10. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2002. Normas para ensayos de materiales para carreteras. V I y II. Bogotá. D. C. INVIAS.
11. JUAREZ BADILLO, E. mecánica de suelos tomo I yll.
12. LAMBE, W. & WHITMAN, R. 1999. Mecánica de suelos. México D. F. Limusa.
13. MENDIVIL, J., ORTIZ, V. & PINEDA, J. 1981. Características de resistencia y compresibilidad de suelos granulares. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado.
14. MONTEJO, A. 1998. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D. C.
15. PETCO S. A. [En línea]. Bogotá D. C. (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet.
16. PLASTUNIVERS [En línea]. España (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet <<http://www.plastunivers.com>>.

17. RICO, A. & DEL CASTILLO, H. 1976. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres. México, Limusa. V I y V II.

18. ROMERO, C. & ALFONSO, E. 1986. Estabilización de Suelos con aceites sulfonados. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado.

19. ROSAS, L. & SARMIENTO, R. 1997. Estabilización de suelos con Huansoco (Látex). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado.

19. THE UNIVERSITY OF SOUTHERN MISSISSIPPI. Los polímeros en persona. [En línea]. E.E.U.U. (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet <<http://www.psrc.usm.edu/spanish/pvc.htm>>. 19. VEGA, F.

&20. MARTÍNEZ, O. 2005. Conformación de bases o subbases en pavimentos empleando estériles de carbón. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C.

21. ZAPATA, E. 1976. Polímeros. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Bogotá D. C.