



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE
SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON
POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%,
2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE
PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO**

Presentado por

Bach. Romero Romero, Rocío Milagros

Bach. Sañac Vilca, Cynthia

Para optar al Título Profesional de Ingeniero
Civil

Asesor: Mg. Ing. Eigner Román Villegas

CUSCO - PERÚ

2016



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mí madre y hermano: Teresita de Jesús y Fredy. Quiero que este sea un pequeño reconocimiento a su esfuerzo en la vida. A mis hermanos que con ejemplo y valores estuvieron siempre al pendiente de mis pasos para la culminación de mi Carrera Profesional.

CYNTHIA

Dedico este trabajo a Dios por ayudarme a escoger el camino adecuado para tener éxitos en mis estudios. A mis abuelos por sus consejos, sabiduría y por estar presentes en mi vida como ejemplo de perseverancia, a mis padres y hermanos por su cariño y atención. Además a todos aquellos que influyeron

ROCÍO ROMERO



AGRADECIMIENTOS

A Dios por cuidarnos y protegernos siempre, darnos salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco, a los docentes por impartirnos conocimientos, la enseñanza de la Ingeniería y brindarnos sus experiencias profesionales.

A todas las personas, familiares, amigos que nos colaboraron y apoyaron en todo momento.

De manera especial a nuestros docentes por el apoyo, dedicación y enseñanzas brindadas a lo largo de nuestra carrera

Las Autoras



RESUMEN

La presente tesis evalúa un producto relativamente nuevo en el mercado. Polímero Adhesivo Natural. Este es un aditivo a base enzimas orgánicas que se vende como pegamento industrial para madera en la tesis se evalúa la incorporación como posible mejorador de la estabilidad de suelos y permitiría incrementar la resistencia de suelos finos arenosos - arcillosos.

Se han realizado ensayos estándar de clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación Proctor Modificado, CBR y compresión no confinada para el material natural y con distintos porcentajes del estabilizador de suelos utilizado.

Las pruebas se realizaron en un Laboratorio de Suelos con base en la Norma Técnica Peruana adecuada para cada ensayo realizado. El estudio se centra en dos tipos de suelo y las variaciones sufridas en sus propiedades mecánicas después del uso del aditivo orgánico.

La evaluación de resultados indica para este estudio de suelos ensayados, que puede lograrse sustantivos incrementos en la capacidad de soporte de los suelos con la adición del aditivo (polímero adhesivo natural).

El incremento en los valores de CBR es variable, en función de la naturaleza de los suelos y el porcentaje del aditivo, por lo que se recomienda realizar ensayos de laboratorio previo a su utilización, para determinar el porcentaje óptimo del aditivo a ser usado en la estabilización.

Como resultado final se presentan una serie de cuadros y tablas que muestran una tendencia positiva a mejorar algunas propiedades.



ABSTRACT

The present thesis evaluates a relatively new product on the market. Adhesive Natural polymer. This one is an additive to base enzymes organic that sells as industrial glue for wood in the thesis evaluates the incorporation as possible mejorador of the stability of soils and it would allow to increase the resistance of thin sandy soils - clayey.

Tests have realized standard of classification of soils, content of dampness and special tests of compaction Proctor Modificado, CBR and compression not confined for the natural material and with different percentages of the stabilizer of soils used.

The tests were realized in a Laboratory of Soils by base in the Technical Norm Peruvian adapted for every realized test. The study centres on two types of soil and the variations suffered in his mechanical properties after the use of the organic additive.

The evaluation of results indicates for this study of tested soils, that substantive increases can be achieved in the capacity of support of the soils by the addition of the additive (adhesive natural polymer).

The increase in CBR's values is variable, depending on the nature of the soils and the percentage of the additive, for what one recommends to realize laboratory test programs before his utilization, to determine the ideal percentage of the additive to be used in the stabilization.

Since final result they present a series of pictures and tables that show a positive trend to improve some properties.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios. En este sentido se ha visto que la problemática existente en la Urb. San Judas Chico del Distrito de Wanchaq” de la ciudad del Cusco, se debe a las fallas estructurales existentes en el pavimento como los agrietamientos, baches y la llamada piel de cocodrilo, que impiden un adecuado tránsito vehicular, generando desorden y deterioro de los vehículos. En este orden de ideas, la estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

En este sentido, en la presente investigación se incluyen las herramientas para la evaluación de la estructura de pavimentos rígidos y muestra tanto los equipos de evaluación como los procedimientos para la determinación de la capacidad de soporte y la densidad máxima de suelo de sub rasante para pavimento rígido. El pavimento es una de las pocas estructuras civiles que tiene un período de diseño finito, por lo que su falla está prevista al término de ésta.

Para obtener las muestras de suelo del tramo estudiado primero procedimos a realizar un reconocimiento de todo el tramo en estudio, seguidamente hicimos la recopilación necesaria de información acerca de nuestro tema de investigación, desarrollando todo lo concerniente al capítulo I, II y III de nuestra tesis, simultáneamente al desarrollo de la tesis procedimos a la evaluación del suelo mediante calicatas así obtener muestras y datos en campo, para luego desarrollarlos en laboratorio, así demostrar o descartar las hipótesis planteadas para finalmente llegar a las conclusiones y recomendaciones que son muy importantes dentro de nuestra investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....	2
1.1.2.1.FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL	2
1.1.2.2.FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	3
1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	3
1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD.....	4
1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA.....	4
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. LIMITACIONES GEOGRÁFICAS.....	4
1.3.2. LIMITACIONES DE DISEÑO	4
1.3.3. LIMITACIONES DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	5



1.4.OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5.HIPÓTESIS	6
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	6
1.5.2. SUB HIPÓTESIS.....	6
1.6.DEFINICIÓN DE VARIABLES	6
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	6
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES	7
1.6.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1.ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL	9
2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	9
2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	12
2.2.ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES	15
2.2.1. SUELO	15
2.2.1.1.DEFINICIÓN.....	15
2.2.1.2.COMPACTACIÓN DE SUELOS	15
2.2.2. PAVIMENTO	15
2.2.2.1.DEFINICIÓN.....	15
2.2.2.2.PAVIMENTO RÍGIDO.....	18
2.2.2.2.1.FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE COMPACTACIÓN.....	19
2.2.3. SUB RASANTE	20
2.2.3.1.DEFINICIÓN	20
2.2.3.2.CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE	22
2.2.3.3.REGISTROS DE EXCAVACIÓN	23



2.2.4. BASE 24

 2.2.4.1.DEFINICIÓN..... 24

2.2.5. SUB BASE 24

 2.2.5.1.DEFINICIÓN 24

2.2.6. ESTABILIZACIÓN..... 25

 2.2.6.1.DEFINICIÓN..... 25

 2.2.6.2.USOS DE LA ESTABILIZACIÓN 27

 2.2.6.2.1.MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD..... 27

 2.2.6.2.2.REDUCCIÓN DEL ESPESOR 27

 2.2.6.3.TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS 27

 2.2.6.3.1.ESTABILIZACIÓN MECÁNICA 28

 2.2.6.3.2.ESTABILIZACIÓN POR SUSTITUCIÓN DE SUELOS30

 2.2.6.3.3.ESTABILIZACIÓN POR CALCINACIÓN O TRATAMIENTO TÉRMICO 30

 2.2.6.3.4.ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS..... 31

 2.2.6.3.5.ESTABILIZACIÓN POR DRENAJE..... 31

 2.2.6.3.6.ESTABILIZACIÓN QUÍMICA..... 31

 2.2.6.3.7.ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS EMPLEANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS 35

 2.2.6.3.8.ESTABILIZACIÓN CON POLÍMEROS..... 36

 2.2.6.4.FUNDAMENTOS PARA LAESTABILIZACIÓN PARA CANTERAS..... 37

 2.2.6.4.1.ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA 37

 2.2.6.4.2.RESISTENCIA 38

 2.2.6.4.3.PERMEABILIDAD 38

 2.2.6.4.4.COMPRESIBILIDAD 39

 2.2.6.4.5.DURABILIDAD 40

2.2.7. POLÍMERO ADHESIVO NATURAL 40



2.2.7.1.DEFINICIÓN	40
2.2.7.2.COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS	40
2.2.7.3.TIPOS.....	41
2.2.7.4.FABRICACIÓN DE COLAS ANIMALES	42
2.2.7.5.APLICACIÓN DEL POLÍMERO ADHESIVO NATURAL	42
2.2.7.5.1.RESTAURACIÓN.....	42
2.2.7.5.2.CARPINTERÍA	42
2.2.7.5.3.TARRAJEO	43
2.2.8. ENSAYOS DE LABORATORIO	43
2.2.8.1.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	43
2.2.8.2.ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	43
2.2.8.3.LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	43
2.2.8.3.1.PLASTICIDAD.....	43
2.2.8.3.2.LÍMITE LÍQUIDO	43
2.2.8.3.3.LÍMITE PLÁSTICO	44
2.2.8.3.4.ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	45
2.2.8.4.CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	46
2.2.8.4.1.DEFINICIÓN	46
2.2.8.4.2.CLASIFICACIÓN SUCS	46
2.2.8.4.3.CLASIFICACIÓN AASHTO	48
2.2.8.4.4.CORRELACIÓN DE LOS SISTEMAS SUCS Y AASHTO	49
2.2.8.4.5.PERFIL ESTRATIGRÁFICO	49
2.2.8.4.6.DESCRIPCIÓN DE SUELOS.....	50
2.2.8.5.PROCTOR MODIFICADO.....	51
2.2.8.6.RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)	51



CAPITULO III: METODOLOGÍA	54
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	55
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	55
3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA.....	56
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	57
3.3.1. POBLACIÓN	57
3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	57
3.3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN	57
3.3.2. MUESTRA	58
3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.....	58
3.3.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	58
3.3.2.3. MÉTODO DE MUESTREO.....	59
3.3.2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE MUESTRA.....	59
3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	60
3.3.3.1. CRITERIO DE INCLUSIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	60
3.3.3.2. CRITERIO DE INCLUSIÓN DEL ADITIVO.....	60
3.3.3.3. CRITERIO DE INCLUSIÓN DE AGUA	60
3.4. INSTRUMENTOS	61
3.4.1. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – HUMEDAD NATURAL	61
3.4.2. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE SUELO ARCILLOSO DE LA URBANIZACIÓN DE SAN JUDAS CHICO.....	62



3.4.3. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URBANIZACIÓN DE SAN JUDAS CHICO - CUSCO..... 63

3.4.4. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – LÍMITE LÍQUIDO 64

3.4.5. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – LÍMITE PLÁSTICO 65

3.4.6. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – PROCTOR MODIFICADO 66

3.4.7. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CBR..... 67

3.4.8. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA..... 68

3.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 73

3.5.1. MUESTREO DE LOS SUELOS 73

 3.5.1.1.EQUIPOS 73

 3.5.1.2.PROCEDIMIENTO 73

 3.5.1.3.TOMA DE DATOS 74

3.5.2. HUMEDAD NATURAL 74

 3.5.2.1.EQUIPOS 74

 3.5.2.2.PROCEDIMIENTO 74

 3.5.2.3.TOMA DE DATOS 75

3.5.3. GRANULOMETRÍA..... 76

 3.5.3.1.EQUIPOS 76

 3.5.3.2.PROCEDIMIENTO 76

 3.5.3.3.TOMA DE DATOS 78

3.5.4. LÍMITE LÍQUIDO..... 80

 3.5.4.1.EQUIPOS 80

 3.5.4.2.PROCEDIMIENTO 80

 3.5.4.3.TOMA DE DATOS 81

3.5.5. LÍMITE PLASTICO..... 81

 3.5.5.1.EQUIPOS 81



3.5.5.2.PROCEDIMIENTO 82

3.5.5.3.TOMA DE DATOS 83

3.5.6. PROCTOR MODIFICADO 83

3.5.6.1.EQUIPOS 83

3.5.6.2.PROCEDIMIENTO 84

3.5.6.3.TOMA DE DATOS 87

3.5.7. ENSAYO CBR..... 96

3.5.7.1.EQUIPOS 96

3.5.7.2.PROCEDIMIENTO 98

3.5.7.3.TOMA DE DATOS 104

3.6.PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS 114

3.6.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD 114

3.6.1.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULO 114

3.6.1.2.TABLA 115

3.6.1.3.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 116

3.6.2. GRANULOMETRÍA..... 117

3.6.2.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS..... 117

3.6.2.2.DIAGRAMAS Y TABLAS 119

3.6.2.3.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 122

3.6.3. LÍMITE LÍQUIDO..... 123

3.6.3.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS..... 123

3.6.3.2.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 124

3.6.4. LÍMITE PLÁSTICO..... 124

3.6.4.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS..... 124

3.6.4.2.DIAGRAMAS Y TABLAS 126

3.6.4.3.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 126



3.6.5. PROCTOR MODIFICADO 127

 3.6.5.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS..... 127

 3.6.5.2.DIAGRAMAS Y TABLAS 128

 3.6.5.3.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 138

3.6.6. CBR 139

 3.6.6.1.PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS..... 139

 3.6.6.2.DIAGRAMAS Y TABLAS 142

 3.6.6.3.ANÁLISIS DE LA PRUEBA 162

CAPITULO IV: RESULTADOS 163

 4.1.CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ARCILLOSO 163

 4.2.CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ARENOSO 163

 4.3.DENSIDAD MÁXIMA SECA Y HUMEDAD ÓPTIMA 164

 4.4.COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CBR DE SUELOS NATURALES
 Y SUELOS CON ADICIÓN DE POLÍMERO ADHESIVO NATURAL. 166

CAPITULO V: DISCUSIÓN 171

GLOSARIO..... 173

CONCLUSIONES..... 175

RECOMENDACIONES 178

REFERENCIAS 180

ANEXOS..... 183

 PANEL FOTOGRÁFICO 183

 ESTRATIGRAFÍA..... 187

 MATRIZ DE CONSISTENCIA 189

 UBICACIÓN DE CALICATAS..... 191



INFORME DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO.....	192
CERTIFICADO DE LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	193
FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	194



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1: Ubicación de calicatas.....	4
TABLA N°2: Cuadro de operacionalización de variables.....	8
TABLA N°3: Requisitos de calidad de material para capa subrasante	21
TABLA N°4: Categorías de subrasante	21
TABLA N°5: Calicatas para la Exploración de Suelos	22
TABLA N°6: Calicatas para la Exploración de Suelos	23
TABLA N°7: Tipo de suelo con su respectivo método de compactación	30
TABLA N°8: Volumen de cemento para estabilización según tipo de suelo	33
TABLA N°9: Permeabilidad según la textura del suelo.....	39
TABLA N°10: Permeabilidad según la estructura del suelo.....	39
TABLA N°11: Componentes del polímero adhesivo natural	41
TABLA N°12: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.....	47
TABLA N°13: Sistema de Clasificación AASHTO.....	48
TABLA N°14: Correlación de Tipos de Suelo	49
TABLA N°15: Categorías de Subrasante	51
TABLA N°16 Descripción de la muestra.....	57
TABLA N°17: Taba de recolección de datos-Humedad natural.....	61
TABLA N°18: Taba de recolección de datos-Granulometría de la muestra suelo arcilloso de la Urb. San Judas Chico.....	62
TABLA N°19: Taba de recolección de datos-Granulometría de la muestra del suelo arenoso de la urbanización de San Judas Chico.	63
TABLA N°20 Taba de recolección de datos-Límite líquido.....	64
TABLA N°21 Taba de recolección de datos-Límite plástico	65
TABLA N°22 Taba de recolección de datos-Proctor modificado	66
TABLA N°23 Taba de recolección de datos-CBR.....	67
TABLA N°24: Porcentaje de Humedad para suelo arcilloso	75



TABLA N°25: Porcentaje de Humedad para suelo arenoso 76

TABLA N°26: Recolección de datos de granulometría de suelo de estrato arcilloso 78

TABLA N°27: Recolección de datos de granulometría de suelo de estrato arenoso..... 79

TABLA N°28: Recolección de límite líquido para suelo de estrato arcilloso 81

TABLA N°29: Recolección de datos de límite plástico para suelo de estrato arcilloso 83

TABLA N°30: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso natural 87

TABLA N°31: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 88

TABLA N°32: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 89

TABLA N°33: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 90

TABLA N°34: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 91

TABLA N°35: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso natural..... 92

TABLA N°36: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural 93

TABLA N°37: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural 94

TABLA N°38: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural 95

TABLA N°39: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural 96

TABLA N°40: Hora de lectura de expansión para el ensayo de CBR..... 102

TABLA N°41: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso... 104



TABLA N°42: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 105

TABLA N°43: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 106

TABLA N°44: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 107

TABLA N°45: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 108

TABLA N°46: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso natural 109

TABLA N°47: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural 110

TABLA N°48: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural 111

TABLA N°49: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural 112

TABLA N°50: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural 113

TABLA N°51: Contenido de humedad para suelo de estrato arcilloso 115

TABLA N°52: Contenido de humedad para suelo de estrato arenoso..... 116

TABLA N°53: Granulometría para suelo de estrato arcilloso..... 119

TABLA N°54: Granulometría para suelo de estrato arenoso 121

TABLA N°55: Límite Líquido para suelo de estrato arcilloso 123

TABLA N°56: Límite Plástico para suelo de estrato arcilloso 126

TABLA N°57: Resultados límites de consistencia 126

TABLA N°58: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso..... 128

TABLA N°59: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 129



TABLA N°60: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 130

TABLA N°61: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 131

TABLA N°62: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 132

TABLA N°63: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso 133

TABLA N°64: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural 134

TABLA N°65: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural 135

TABLA N°66: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural 136

TABLA N°67: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural 137

TABLA N°68: Máxima densidad seca..... 138

TABLA N°69: CBR de suelo de estrato arcilloso 142

TABLA N°70: CBR de suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 144

TABLA N°71: CBR de suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 146

TABLA N°72: CBR de suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 148

TABLA N°73: CBR de suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 150

TABLA N°74: CBR de suelo de estrato arenoso 152

TABLA N°75: CBR de suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural 154

TABLA N°76: CBR de suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural 156



TABLA N°77: CBR de suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural 158

TABLA N°78: CBR de suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural 160

TABLA N°79: CBR al 100% y 95%..... 162

TABLA N°80: Granulometría de suelo arcilloso..... 163

TABLA N°81: Granulometría de suelo arenoso 163

TABLA N°82: Máxima densidad seca y CBR 166

TABLA N°83: CBR máximo del suelo de estrato arenoso 169

TABLA N°84: Datos de suelo natural y suelo + 0.5% de polímero adhesivo natural 175

TABLA N°85: Datos de suelo natural y suelo + 1% de polímero adhesivo natural 176

TABLA N°86: Datos de suelo natural y suelo + 2% de polímero adhesivo natural 176

TABLA N°87: Datos de suelo natural y suelo + 3% de polímero adhesivo natural 177



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: Calles deterioradas de la Urb. San Judas Chico.....	1
FIGURA N°2: Estructura de Pavimentos	17
FIGURA N°3: Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos..	17
FIGURA N°4: Estructura de Pavimento Rígido.....	19
FIGURA N°5: Ensayo de límite líquido.	44
FIGURA N°6: Ensayo de límite plástico.	44
FIGURA N°7: Índice de plasticidad.....	45
FIGURA N°8: Signos convencionales para perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO.....	50
FIGURA N°9: Signos convencionales para perfil de Calicatas – Clasificación SUCS	50
FIGURA N°10: Aparato de CBR	52
FIGURA N°11: Diseño de ingeniería	56
FIGURA N°12: Escobilla de metal	68
FIGURA N°13: Brocha.....	68
FIGURA N°14: Espátula	68
FIGURA N°15: Juego de tamices	69
FIGURA N°16: Recipiente metálico con tapa	69
FIGURA N°17: Recipiente metálico.....	69
FIGURA N°18: Bandeja mezcladora grande	70
FIGURA N°19: Regla.....	70
FIGURA N°20: Balanza electrónica.....	70
FIGURA N°21: Tinajas	71
FIGURA N°22: Cocina.....	71
FIGURA N°23: Molde de compactación	71



FIGURA N°24: Martillo de compactación 72

FIGURA N°25: Equipo de CBR 72

FIGURA N°26: Deformímetro 72

FIGURA N°27: Máquina de compresión para CBR 73

FIGURA N°28: Tamizado de las muestras 77

FIGURA N°29 Mezcla del suelo con de agua para ensayo de Proctor Modificado 85

FIGURA N°30: Registro del peso de muestra del ensayo de Proctor Modificado 86

FIGURA N°31: Disolución del polímero adhesivo natural..... 98

FIGURA N°32: Mezcla del suelo con el polímero adhesivo natural..... 99

FIGURA N°33: Enrasado de muestra para CBR 100

FIGURA N°34: Sumergido de los moldes de CBR 101

FIGURA N°35: Lectura de expansión de las muestras..... 102

FIGURA N°36: Ensayo de penetración 103

FIGURA N°37: Muestras de suelo de estrato arcilloso después del ensayo de penetración..... 103

FIGURA N°38: Curva granulométrica para suelo de estrato arcilloso 120

FIGURA N°39: Curva granulométrica para suelo de estrato arenoso 122

FIGURA N°40: Curva de Fluidéz. 124

FIGURA N°41: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso . 129

FIGURA N°42: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 130

FIGURA N°43: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 131

FIGURA N°44: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 132

FIGURA N°45: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 133



FIGURA N°46: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso . 134

FIGURA N°47: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +0.5% de polímero adhesivo natural 135

FIGURA N°48: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +1% de polímero adhesivo natural 136

FIGURA N°49: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +2% de polímero adhesivo natural 137

FIGURA N°50: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +3% de polímero adhesivo natural 138

FIGURA N°51: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso..... 143

FIGURA N°52: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural 145

FIGURA N°53: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural 147

FIGURA N°54: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural 149

FIGURA N°55: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural 151

FIGURA N°56: Graficas de CBR para suelo de estrato arenoso..... 153

FIGURA N°57: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural 155

FIGURA N°58: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural 157

FIGURA N°59: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural 159

FIGURA N°60: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural 161

FIGURA N°61: Densidad máxima seca del suelo arcilloso 164

FIGURA N°62: Humedad óptima del suelo arcilloso 164

FIGURA N°63: Densidad máxima seca del suelo arenoso..... 165



FIGURA N°64: Humedad óptima del suelo arenoso.....	165
FIGURA N°65: CBR del suelo de estrato arcilloso	166
FIGURA N°66: CBR del suelo de estrato arenoso	167
FIGURA N°67: CBR máximo del suelo de estrato arcilloso.....	167
FIGURA N°68: CBR máximo del suelo de estrato arenoso	168

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las vías de la Urbanización San Judas Chico han sido intervenidas por acción de inversión pública hace aproximadamente más de 20 años y ha estado siendo utilizada para la transitabilidad de los vecinos y de las unidades vehiculares facilitando el desarrollo de sus actividades diarias.

De la visita a campo se ha realizado una inspección visual, observando que al pasar el tiempo se han presentado daños al elemento vial el cual ha sido construido en pavimento flexible, se observa que algunas calles presentan en gran proporción piel de cocodrilo y peladuras de severidad moderada a alta, daños en menores proporciones como baches descubiertos, desintegración de borde, hundimientos, fisuramientos longitudinales, transversales, de borde y en bloque.

FIGURA N°1: Calles deterioradas de la Urb. San Judas Chico



Fuente: Elaboración propia



Debido al crecimiento demográfico algunos socios de la urbanización han realizado ampliaciones en sus viviendas construyendo pisos adicionales lo que ha conllevado a que Seda Cusco intervenga realizando conexiones de agua y desagüe, rompiendo las veredas y la carpeta de rodadura sin realizar la reparación adecuada; también se ha observado el empozamiento de agua en épocas de lluvia esto debido a los desniveles que presenta la superficie de rodadura.

1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2%, 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?

1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 0.5% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?
2. ¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 1% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?
3. ¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 2% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?
4. ¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?



1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En la actualidad el suelo para subrasante para pavimento rígido es mejorado con productos artificiales como cal, cemento, asfalto, entre otros. Pero debido a la demanda de una sociedad que busca soluciones ecológicas y amigables con el medio ambiente, el usar el polímero adhesivo natural podría ser una solución más factible y económica.

En la región del Cusco no se cuenta con estudios a nivel de investigación del mejoramiento de suelos con este aditivo. Además que el no contar con suelo de calidad en todas partes, conlleva a que se cambie el suelo por material granular traído de cantera, que concibe a un mayor presupuesto, usando el polímero adhesivo natural nos brindaría un mejoramiento del suelo optimizando sus características y no sea necesario el material de cantera; además de brindar pautas para futuras investigaciones como puede ser el caso de suelo para cimentaciones.

Se analizó las propiedades físicas de los agregados en laboratorio con ensayos indicados y verificando el cumplimiento de los parámetros de la norma NTP. Se realizó ensayos en laboratorio para determinar la capacidad de soporte, densidad máxima y resistencia la compresión, según guías de la ASTM y NTP. Se utilizaron las Normas de clasificación de suelos como son AASHTO Y SUCS.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La investigación es necesaria desde el punto de vista social, debido a que en la región del Cusco se observa el déficit de los suelos que no cumplen con la normativa vigente por lo que se trata de mejorar con polímero adhesivo natural, debido a que éste resulta más económico que traer material de canteras para que cumpla las características requeridas en ingeniería. Además de ser una solución económica que aporta a la calidad del mejoramiento de suelo.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

Por la disposición en la ubicación de la urbanización San Judas Chico de los cuales proceden las muestras de suelo usado en la tesis, el estudio es viable para su realización y estudio mediante ensayos efectuados con los equipos de un laboratorio particular, cuentan con la respectiva calibración y su empleo otorga resultados favorables.

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

Esta investigación propone un nuevo aditivo para el mejoramiento de suelo para subrasante para pavimento rígido y aportar nuevas propiedades, además que poseerá un menor costo de producción.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. LIMITACIONES GEOGRÁFICAS

- El tema de investigación está geográficamente limitado a la región del Cusco ya que se utilizará suelo de la urbanización San Judas Chico, Wanchaq.
- La investigación se limita a suelo de subrasante de la urbanización San Judas Chico.
- Se utilizó suelo de 2 calicatas.

TABLA N°1: Ubicación de calicatas

	Calicata 1	Calicata 2
Este:	180145.52	180175.77
Norte:	8502051.71	8502127.94
Elevación:	3313	3313

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

1.3.2. LIMITACIONES DE DISEÑO

- El aditivo a utilizar será polímero adhesivo natural, con una pureza de 91.2%.
- El estudio se limita a la adición de polímero adhesivo natural en un porcentaje en peso del suelo: 0.5%, 1%, 2% y 3%.
- Las características de las muestras se evaluarán según lo especificado en las normas para sub rasante de pavimento rígido.



1.3.3. LIMITACIONES DE ENSAYOS DE LABORATORIO

- La evaluación comparativa se realizó mediante la capacidad de soporte y la densidad máxima.
- Los ensayos de laboratorio se efectuarán en las condiciones ambientales de la ciudad del Cusco.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 0.5% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
2. Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 1% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
3. Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 2% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
4. Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.



1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

La capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.

1.5.2. SUB HIPÓTESIS

1. La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
2. La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 1% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
3. La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 2% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.
4. La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Suelo del estrato arcilloso: Suelo de las calles de la Urbanización San Judas Chico, distrito de Wanchaq; para sub-rasante. Indicador: Peso (Kg)
- Suelo del estrato arenoso: Suelo de las calles de la Urbanización San Judas Chico, distrito de Wanchaq; para sub-rasante. Indicador: Peso (Kg)
- Polímero adhesivo natural: Polímero adhesivo natural obtenido a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos de animales. Indicador: Porcentaje en peso del suelo (%)



1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Capacidad de soporte: Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Indicador: Número de CBR.
- Densidad máxima: Relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad. Indicador: gr/cm³

1.6.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N°2: Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLES DEPENDIENTES				
Capacidad de soporte	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.	Inadecuada	Número de CBR	Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil
		Insuficiente		
		Regular		
		Buena		
		Muy buena		
Densidad máxima	Relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad.	Magnitud de la densidad máxima	gr/cm ³	Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil
VARIABLES INDEPENDIENTES				
Suelo del estrato arcilloso	Suelo de las calles de la Urbanización San Judas Chico, distrito de Wanchaq; para sub-rasante.	Muy bueno	Peso (Kg.)	Norma CE.010 Pavimentos Urbanos
		Bueno		
		Regular		
		Pobre		
		Muy pobre		
Suelo del estrato arenoso	Suelo de las calles de la Urbanización San Judas Chico, distrito de Wanchaq; para sub-rasante.	Muy bueno	Peso (Kg.)	Norma CE.010 Pavimentos Urbanos
		Bueno		
		Regular		
		Pobre		
		Muy pobre		
Polímero adhesivo natural	Polímero adhesivo natural obtenido a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos de animales.	0.5%	Porcentaje en peso del suelo (%)	Guías de observación de laboratorio de Mecánica de Suelos
		1%		
		2%		
		3%		



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Tesis: “Ensayos de Estabilización de Suelos con el Aditivo RBI-81 - Puno”

Tesis presentada por: Roxana M. Ugaz Palomino; Carlos Tupia Córdova; Jorge E. Alva Hurtado.

Fecha: 2000

Institución: Universidad Nacional de Ingeniería

Resumen: En este artículo se presenta los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con una amplia gama de suelos peruanos y un aditivo estabilizador de suelos, el RBI-grado 81 de Road Building International.

El aditivo fue proporcionado por Corporación Económica S.A. distribuidor del producto en el Perú

Se han realizado ensayos estándar de clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación Proctor Modificado, CBR y compresión no confinada para el material natural y con distintos porcentajes del estabilizador de suelos utilizado. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de Hidroenergía Consultores en Ingeniería y de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La evaluación de resultados indica que para una amplia gama de suelos ensayados puede lograrse sustantivos incrementos en la capacidad de soporte de los suelos con la adición del aditivo. El incremento en los valores de CBR es variable, en función de la naturaleza de los suelos y el porcentaje del aditivo, por lo que se recomienda realizar ensayos de laboratorio previo a su utilización, para determinar el porcentaje óptimo del aditivo a ser usado en la estabilización.

Conclusiones:

- La utilización del aditivo ensayado determinó un incremento considerable de la capacidad de soporte en una amplia gama de suelos (Gravas, Arenas, Arcillas y Limos) brindándonos una solución al problema de la sub rasante que se presenta al momento de la construcción de una carretera, donde



muchas veces se emplea una estabilización mecánica para aumentar el valor del CBR.

- La determinación del óptimo contenido de aditivo deberá de garantizar, además de la capacidad de soporte (CBR) requerida, una adecuada resistencia a la durabilidad y desgaste (producidos por lluvias, congelamiento y el tráfico).
- El agente estabilizador presentó un comportamiento favorable en materiales gravosos arcillosos, gravosos limosos, arenosos arcillosos, arenosos limosos, limosos arenosos así como arcillosos arenosos. Para el caso de material fino como arcillas y limos a ser utilizados con el aditivo, el porcentaje de aditivo a utilizar podría ser mayor. Se recomienda un mayor número de ensayos en materiales finos.
- Para determinar un óptimo contenido del aditivo se deben realizar ensayos de laboratorio con los suelos naturales y diferentes porcentajes de aditivo.
- Se recomienda continuar con las investigaciones sobre el uso del aditivo RBI-Grado 81 en diferentes suelos ya que presenta un gran potencial en el aumento de capacidad de soporte de subrasante, subbases y bases.

Tesis: “Pruebas con un Producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras - Piura”

Tesis presentada por: María Alejandra Ravines Merino

Fecha: 2010

Institución: Universidad de Piura

Resumen: Esta tesis evalúa un producto relativamente nuevo en el mercado: Perma - Zyme 22X. Este es un aditivo a base enzimas orgánicas que se vende como posible mejorador de la estabilidad de suelos y permitiría incrementar la resistencia de suelos finos plásticos - arcillosos.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura con base en la Norma Técnica Peruana adecuada para cada ensayo realizado. El estudio se centra en un solo tipo de suelo y las variaciones sufridas en sus propiedades mecánicas después del uso del aditivo químico.



Como resultado final se presentan una serie de cuadros y tablas que muestran una tendencia positiva a mejorar algunas propiedades.

Conclusiones:

- Aumento del valor soporte relativo y de la resistencia. Se confirma una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 200% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo.
- Los mejores resultados se dieron en aquellas probetas en la cuales se trabajó con la mayor concentración de aditivo y con la condición de 72 horas de secado antes de colocarlas en la poza de curado.
- Los resultados de CBR coinciden con los resultados de las pruebas hechas por el MTC, lo que confiere una mayor credibilidad a la investigación.
- Existe la tendencia a la disminución de absorción de agua. El aditivo provoca la acción aglutinante sobre los materiales finos plásticos-arcillosos, por la cual en las probetas con mayor porcentaje de finos la absorción de agua (aunque no muy notoria) es menor.
- Existe la tendencia a la disminución del hinchamiento. Mayor reducción en aquellas probetas a las cuales se dejó el aditivo actuar 72 horas antes de ponerlas en la cámara de curado.
- La mayor reducción del hinchamiento lograda fue de un 50% con respecto a las probetas si aditivo.

Desde el punto de vista físico-químico los parámetros medidos: sales solubles totales y conductividad eléctrica muestran los cambios producidos en el sistema suelo – aditivo. La diferencia sutil en la cantidad de sales solubles (en la muestra sin aditivo es mayor que en la muestra con aditivo) así como las mediciones de la conductividad eléctrica; arrojan una posible tendencia de un efecto cementante (por la reducción de la cantidad de las sales y conductividad eléctrica) el que es originado por el aditivo.



2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Tesis: “Estabilización de Suelos con Tanino en la ciudad de Chaco - Argentina”

Tesis presentada por: Hector Di Rado R, Viviana Fabre E, Federico Miño.

Fecha: 2000

Institución: Universidad Nacional del Nordeste

Resumen: Esta experiencia consiste, básicamente, en agregar al suelo natural un compuesto estabilizante cuyo principal componente es tanino; a él se le agrega agua y un aldehído.

Los trabajos se ejecutaron utilizando extracto de quebracho colorado (tanino). Se denomina así comúnmente a la sustancia orgánica de origen vegetal, soluble en agua, que se obtiene por difusión, con agua caliente, del aserrín del quebracho colorado (*Schinopsis balansae*). Forma parte de una numerosa variedad de taninos que se hallan presentes en la corteza, frutos y troncos de muchas plantas.

Se eligió el formol como reactivo. Es una solución acuosa de aldehído fórmico o formaldehído que combinado con el tanino produce una resina del tipo fenol formaldehído.

Conclusiones:

- El objetivo propuesto para la presente investigación puede considerarse logrado, ya que se ha podido alcanzar el mejoramiento buscado del suelo natural mediante el agregado de distintos tipos de resinas conformadas con distintas proporciones de tanino y formol. El tanino utilizado ha sido siempre del mismo origen (extracto de quebracho colorado); en cambio se probaron dos tipos de formol (tratamientos a) y b)) de distinta calidad y con distintos resultados alcanzados, lo cual destaca la importancia de la elección del formol adecuado para la generación de la resina. Son muy alentadores los resultados logrados con el suelo que posee importante contenido de materia orgánica (muestra B de suelo).
- Este material mostró elevados valores de resistencia, lo que permite suponer que la materia orgánica contribuyó favorablemente en la formación de la resina aglutinante. Esta cualidad puede colocar al producto objeto de la presente investigación en un orden de prioridad respecto de otros usados con



el mismo fin y que muestran neta incompatibilidad con la materia orgánica contenida en el suelo.

- El suelo tratado con resina logra una notable ganancia en la impermeabilidad, manteniendo firme su estabilidad cuando es sometido a la acción del agua durante un prolongado período de inmersión. Además, se pone en evidencia el fenómeno de intercambio de cationes (Pardo, 1955), con la consecuencia de lograr cambiar radicalmente las constantes físicas del suelo hasta, en varios casos, anular su plasticidad.
- Por último se concluye que siempre será necesario, para definir el porcentaje de estabilizado y la dosificación de la resina, acompañar con adecuados ensayos de laboratorio realizados sobre cada tipo de suelo cuyo comportamiento mecánico e hidráulico se desee mejorar.

Tesis: “Efecto de la Cal Hidratada sobre Algunos Parámetros de Resistencia Mecánica en Suelos Arenosos para la Estabilización de Suelos en Construcciones Viales Tramo Payrumani – Cebada Mayu - Bolivia”

Tesis presentada por: Marcial Modesto Choque Godoy.

Fecha: 2006

Institución: Universidad Técnica de Oruro

Resumen: La estabilización de suelos en caminos vecinales aunque parezca extraño, requieren precisamente por sus condiciones especiales de economía, la mayor eficiencia técnica, requiere soluciones de verdadero ingenio; gran esmero amplios conocimiento técnicos y de mucha experiencia. Su tránsito es escaso y no se justifica una gran inversión, sin embargo, con muy poco gasto, hay que asegurar el tránsito en todas las épocas del año.

En la estabilización de suelos los procesos constructivos no requieren de equipos especiales, aunque en la actualidad existen equipo que pueden acelerar el mezclado, la inyección de cal hidratada, la humectación y el compactado parcial.

Conclusiones:

- El tráfico analizado está considerado como un tráfico bajo para la zona, cuyo análisis se lo realizo más con fines cuantitativos y calificar la categoría del



camino, que entra en la IV categoría, y la carga máxima por rueda resulto ser de 3.6 Tn.

- Se analiza este proyecto con préstamos laterales para la conformación de los terraplenes y las diferentes capas para alivianar costos.
- Después de realizar los ensayos de suelo en el terreno natural, se concluye que tenemos entre los suelos más críticos están los suelos A-5, con características más desfavorables y se concluye estabilizarlos.
- En análisis de mejorar las características de los suelos (A-5) tratándolas con cal hidratada en diferentes porcentajes, empezando con 2% aumentando a 4% y así sucesivamente hasta 8%.
- Las características con 2% de cal hidratada son la que nos satisface para colocar una carpeta antes de la capa de rodadura. Así es que utilizando el método del C.B.R. calculamos los espesores de los tramos a estabilizar.
- Para estas características físicas químicas también con el ábaco del método C.B.R. tenemos un espesor de 12 cm. para la capa de rodadura de ripio, los cuales se encuentran en tres zonas en el proyecto, al inicio al medio y al final.
- En el análisis de presupuesto calculamos un 60 % de beneficios sociales en el cual incluimos un 2% para seguridad industrial para abastecer de hociqueras y guantes al personal en contacto directo con la cal hidratada, el presupuesto total del proyecto es de 286.470,78 \$us (Doscientos Ochenta y seis mil cuatrocientos setenta 78/100 Dólares Americanos). La obra tendrá una duración de 8 meses y 21 días.

Realizando la ficha ambiental y la matriz de identificación de impactos obtuvimos la clasificación del proyecto que es la de II Categoría donde requiere un EIA analítica y específica.



2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1. SUELO

2.2.1.1. DEFINICIÓN

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía.

Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

- Fase sólida, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.
- Fase líquida (generalmente agua).
- Fase gaseosa (generalmente aire) espacios vacíos. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)

2.2.1.2. COMPACTACIÓN DE SUELOS

Se entenderá por compactación al proceso mecánico mediante el cual se disminuye los vacíos dentro de una masa de suelo, obligando a las partículas sólidas a ponerse en contacto más íntimo entre sí. El sistema de partículas constituye a la fase sólida del suelo y, los espacios encerrados corresponden a la fase fluida. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.2. PAVIMENTO

2.2.2.1. DEFINICIÓN

El pavimento es un sistema estructural a base de capas que le dan las propiedades y resistencias necesarias para cumplir con las solicitudes funcionales y estructurales. A nivel de capacidad funcional, debe poseer una calidad aceptable en la carpeta de rodadura, una adecuada fricción superficial, una buena geometría por seguridad, y determinado aspecto estético. A nivel estructural debe soportar las solicitudes a las que se somete todo el paquete estructural (base, subbase y



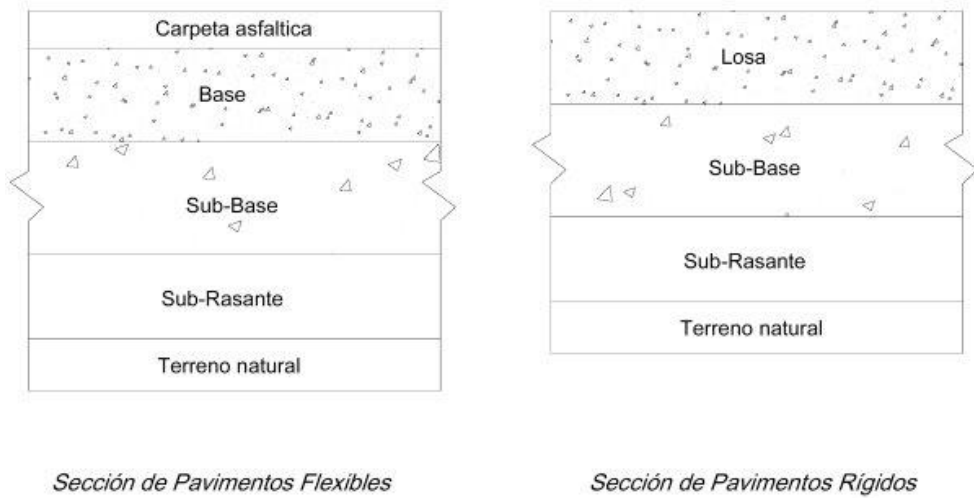
subrasante), teniendo en cuenta las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales. (Iturbe Coronado, 2002)

Las fallas que presente el pavimento serán el resultado de la interacción de los siguientes factores: (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

- Mal diseño. El diseño del pavimento debe estar orientado a cumplir los requisitos estructurales y funcionales.
- Mala práctica en la construcción.
- Falta de mantenimiento o mantenimiento inadecuado.
- Tránsito: Influye en magnitud y frecuencia; la frecuencia es importante porque en cada punto del pavimento habrá situaciones de carga y descarga. La principal característica de esta variable es que tiene una naturaleza cíclica o repetitiva.
- Materiales inadecuados; aquellos materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras.
- Condiciones ambientales; como la temperatura ambiente que tiene influencia directa durante la construcción ya que hay que ver la humedad necesaria para la compactación del terreno de fundación; la napa freática, que puede alterar considerablemente la temperatura de equilibrio; el régimen de precipitaciones, que en nuestro medio se presenta en la estación de verano y que puede causar el incremento del nivel freático además de infiltración, pudiendo afectar el funcionamiento de la superficie del pavimento ocasionando desprendimientos, hundimientos, etc.

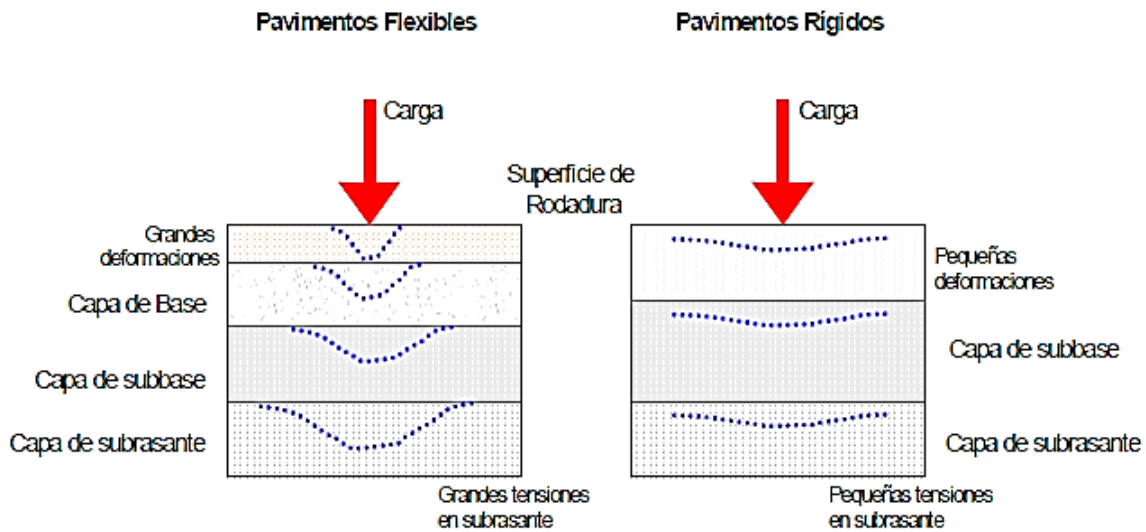
Un punto importante es la capacidad de drenaje que todas las capas deben tener. Este es un proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos por medios naturales o artificiales. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras, pues el agua tiene efectos altamente perjudiciales en la estructura, adonde ingresa a través de las grietas, juntas, bermas o como agua subterránea por el nivel freático; reduciendo la resistencia de las capas granulares como son la base y subbase y hasta del suelo de sub rasante. (AASHTO, 1998)

FIGURA N°2: Estructura de Pavimentos



Fuente: <http://www.pasionporvolar.com/pavimentacion-de-las-pistas-aereas>

FIGURA N°3: Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos

El diseño de las capas estructurales, exige que éstas sean hechas para resistir las sollicitaciones mencionadas anteriormente con el fin de proporcionar seguridad a bajo costo, logrando una larga vida útil del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



2.2.2.2. PAVIMENTO RÍGIDO

Es el que se ejecuta teniendo como material fundamental el hormigón, bien sea en la base o en toda su estructura. Estos pavimentos se clasifican de acuerdo al tipo de hormigón que se emplee (Ecured enciclopedia Cubana, 2009)

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la sub rasante.

Existen 3 tipos de pavimentos de concreto:

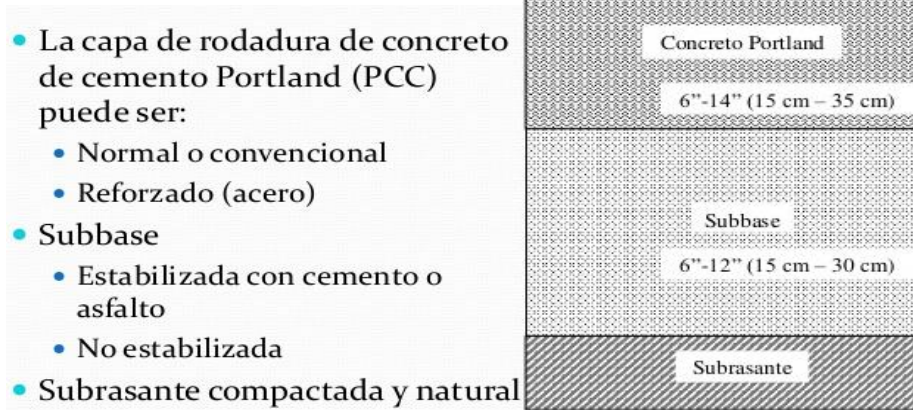
- Pavimentos de concreto simple con juntas
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Formas de trabajo

La diferencia fundamental entre pavimentos rígidos y flexibles, viene dada por la forma de distribución de las cargas en la sub - base o subrasante. En el caso de los pavimentos rígidos, debido a las condiciones propias del material empleado como son: rigidez y alto módulo de elasticidad, se tiende a una distribución de las cargas sobre una mayor área de la subrasante, de modo que una mayor parte de estas las absorbe la losa de hormigón. (Ecured enciclopedia Cubana, 2009)

FIGURA N°4: Estructura de Pavimento Rígido



Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/clase2-140912215426-phpapp01/95/tipos-de-pavimentos>

2.2.2.2.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE COMPACTACIÓN

La densidad final que se alcanza en un suelo, depende de varios factores. Entre los principales se pueden mencionar, la humedad, la energía de compactación aplicada y el tipo de suelo de que se trate. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2011)

- A. Efecto del Agua: Si el suelo que contiene finos plásticos, se somete a un proceso de compactación, y se miden las densidades obtenidas para diferentes contenidos de agua (humedad), manteniendo constantes la energía de compactación, se obtiene la curva típica densidad-humedad, que se indica en el grafico Densidad-Humedad.
- B. Energía de Compactación: A mayor energía de compactación aplicada se logrará una mayor densidad máxima, y una correspondiente menor humedad óptima.
- C. Tipo de Suelo: El tipo del suelo es un factor determinante en la densidad que se logre en un proceso de compactación. Su valor queda determinado en gran medida por características tales como su peso específico, textura, forma de sus partículas, plasticidad, etc.



2.2.3. SUB RASANTE

2.2.3.1. DEFINICIÓN

La Subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Es el suelo de fundación (suelo natural libre de vegetación y compactado) en el que se apoya todo el paquete estructural. Este material puede ser tanto granular como afirmado, empedrados u otras carpetas granulares, seleccionados o cribados, producto de cortes y extracciones de canteras. (Ravines Merino, 2010)

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un $CBR < 6\%$ (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

La subrasante tiene una gran influencia en la construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, así las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de la base y sub-base y no dan el soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación, los problemas que se presentan no serán observados sino hasta después de la culminación de la construcción, cuando la estructura entre en funcionamiento y deba soportar las cargas del tránsito. (Ravines Merino, 2010)

Los esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos son influidas en gran porcentaje por ésta capa, un gran porcentaje de las deflexiones que se producen en la superficie de un pavimento se le puede atribuir a las subrasantes, por este motivo se debe asegurar una buena caracterización de la subrasante.

Entre las propiedades requeridas para estos suelos tenemos:

- Resistencia
- Drenaje
- Fácil compactación
- Conservación de la compactación
- Estabilidad volumétrica

Esta capa está expuesta a las condiciones ambientales por lo que debe cumplir requisitos de calidad indispensables para contrarrestar los efectos que por su condición se pueden originar: (Ravines Merino, 2010)

TABLA N°3: Requisitos de calidad de material para capa subrasante

Característica	Valor
Límite Líquido; % máximo	35 - 40
Valor soporte de California (CBR); % mínimo	20
Expansión máxima; %	2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se considerará aptos aquellos suelos que presenten un CBR mayor o igual a 6%, de ser los resultados menores a éste se procederá al desecho de dicho material y a su posterior reemplazo si es material propio y/o en todo caso a su estabilización, pues como demostraremos resulta más económico. (Ravines Merino, 2010)

TABLA N°4: Categorías de subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

La función principal de ésta capa es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, se le considera la cimentación del pavimento.

2.2.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro.

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

TABLA N°5: Calicatas para la Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 4 calicatas x km 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km 	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km 	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km 	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.2.3.3. REGISTROS DE EXCAVACIÓN

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM - WGS84), número de muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Así mismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada una de los estratos del sub-suelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de la subrasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia (Mr) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de Mr, la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

TABLA N°6: Calicatas para la Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	N° Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none">• Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido• Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido• Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none">• Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido• Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido• Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none">• Cada 1 km se realizará un CBR
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none">• Cada 1.5 km se realizará un CBR
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none">• Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none">• Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones



2.2.4. BASE

2.2.4.1. DEFINICIÓN

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tiene una función netamente estructural. Esta capa debe cumplir con distribuir los esfuerzos creados por las cargas de los neumáticos que actúan sobre la superficie de rodadura; debe poseer alta densidad y estabilidad como características principales.

La principal especificación de calidad es la granulometría, pues esta capa debe ser densamente graduada, se debe restringir el porcentaje de finos pues se debe asegurar que permita el drenaje hacia ambos lados de tal manera que se pueda mantener la resistencia; una cantidad por encima de la deseada de finos podrían llenar los vacíos de la base, reduciendo su permeabilidad. (Ravines Merino, 2010)

2.2.5. SUB BASE

2.2.5.1. DEFINICIÓN

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Esta capa está a mayor profundidad que la capa base y por lo tanto la influencia de las cargas es menor así que su aporte a la resistencia estructural no es tan importante; por tanto la mezcla de materiales no tiene que ser muy densa; sin embargo, se debe considerar que una gradación abierta puede contaminarse con la intrusión de granos finos, los que provienen de la sub-rasante, arrastrados por capilaridad; esto hace que se reduzca su capacidad de drenaje.



El objetivo principal de la construcción de la sub-base es corregir posibles irregularidades o deficiencias que tenga el suelo de fundación para que éstos no afecten a la base como los cambio de volumen de elasticidad y plasticidad. Además debe de servir de drenaje al pavimento para evitar la infiltración de agua y arrastre de finos; y permitir o transmitir los efectos de la carga de manera uniforme a la sub-rasante.

Con la construcción de esta capa también se controla la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de cualquier alguna otra fuente protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se pueden producir por ejemplo en las zonas donde existen heladas (congelamiento del agua capilar), por ello una recomendación es importante: el material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6. ESTABILIZACIÓN

2.2.6.1. DEFINICIÓN

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla de suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. (Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica, 2008)

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurado que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto



se logran 3 objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima. (Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica, 2008)

Cuando se presenta un suelo que no reúne las características mecánicas necesarias para trabajar directamente con él, se tendrá tres posibilidades:

- Utilizar el material como de bajo aporte.
- Sustituir el material.
- Modificar sus propiedades (estabilizar).

La estabilización se define como un proceso de mejorar el comportamiento del suelo (propiedades mecánicas) mediante la reducción de sus susceptibilidades a la influencia del agua y a las condiciones del tránsito, cambiando considerablemente las características del mismo, produciendo un aumento en su resistencia y estabilidad a largo plazo; es decir durabilidad.

Por ejemplo; para suelos arcillosos de características plásticas que tienden a sufrir cambios volumétricos debido a cambios de humedad y con baja capacidad de soporte el objetivo principal será una reducción en su índice de plasticidad; ya que un IP demasiado alto significará un alto valor de expansión y/o su opuesta contracción, a la vez una baja capacidad para soportar cargas. (Ravines Merino, 2010)

Casos que justifican una estabilización:

- Suelo de subrasante desfavorable o muy arenoso o muy arcilloso.
- Materiales para base o subbase en el límite de las especificaciones.
- Condiciones de humedad.
- Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.

En una repavimentación, utilizando los materiales existentes.



2.2.6.2. USOS DE LA ESTABILIZACIÓN

El diseño de pavimentos de basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente.

Entonces, la calidad de la capa de suelo puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas. (Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica, 2008)

2.2.6.2.1. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD

Una de las principales mejorías que se logran a través de la estabilización de la subrasante es en cuanto a la graduación del suelo. Igualmente se logra reducir el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. Por otro lado se incrementa su durabilidad y dureza. En climas humedad la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más apta para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejorías pueden ser llamadas: “modificación del suelo”. (Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica, 2008)

2.2.6.2.2. REDUCCIÓN DEL ESPESOR

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base a la subbase pueden ser reducidos si el material estabilizado presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerido. (Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica, 2008)

2.2.6.3. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En la actualidad se emplean los siguientes métodos (Ravines Merino, 2010):

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización por medios eléctricos.
- Estabilización por calor y calcinación.
- Estabilización por drenaje.



- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).
- Estabilización química de los Suelos Empleando Nuevas Tecnologías
- Estabilización con Polímeros

2.2.6.3.1. ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

La estabilización mecánica consiste en mejorar las propiedades del suelo por densificación o por mejora de sus características granulométricas mediante la mezcla con otro material. En el Perú es el método de estabilización más difundido porque se puede aplicar con el equipo mecánico convencional que suele estar disponible como motoniveladora, rodillo compactador y tractor. (Menéndez Acurio , 2012)

La adecuada construcción de una capa de pavimento con un material obtenido por estabilización granular depende fundamentalmente en la adecuada colocación de los diversos materiales sobre la vía para que al mezclarlos en vía, la mezcla se haga en las proporciones previamente calculadas y el producto obtenido tenga la gradación exigida. Una vez se haga la mezcla en seco, se incorpora la cantidad de agua necesaria, se hace la mezcla húmeda y se compacta y termina como cualquier base o subbase granular. (Menéndez Acurio , 2012)

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para ésta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte. (Ravines Merino, 2010)

Al compactar un suelo se obtiene:

- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.
- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos.



Para asegurar una buena compactación deben realizarse pruebas de terreno, para definir qué equipo será el mejor para el tipo de material, el espesor de capas, el número de pasadas para cumplir con todas las especificaciones técnicas de densidad seca. (Ravines Merino, 2010)

Los factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

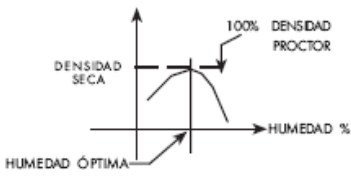
- Las características físicas de los suelos.
- El equipo de compactación.
- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

- Amasado: Se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.
- Impactos de carga: Se utilizan pisones los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.
- Presión estática: Con rodillos lisos y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.
- Vibración: Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas.
- Métodos mixtos: Es la combinación de los anteriores procedimientos.

Para efectos de la compactación, los suelos se dividen en dos grupos, suelos granulares y suelos finos. En la siguiente tabla se muestra las características entre cada tipo de suelo y el método de compactación recomendado para cada uno.

TABLA N°7: Tipo de suelo con su respectivo método de compactación

Tipo de suelos	Características	Compactación
Suelo granular	Suelo formado por gravas y arenas limpias o con pocos finos (menor a 5%)	Se compactan totalmente secos o con abundante agua.
Suelo fino	Suelo gravosos o arenosa con más de un 12% de finos, o bien, suelo netamente fino.	Se compactan con humedad. La humedad óptima se determina con el ensayo Proctor.
		 <p>El gráfico muestra una curva de densidad que comienza en un punto etiquado como 'DENSIDAD SECA' y alcanza un pico etiquado como '100% DENSIDAD PROCTOR'. Una línea vertical desde el punto del pico indica la 'HUMEDAD ÓPTIMA' en el eje horizontal etiquado como 'HUMEDAD %'.</p>

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima, que es un mínimo porcentaje de la densidad máxima que se obtiene en laboratorio. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado.

2.2.6.3.2. ESTABILIZACIÓN POR SUSTITUCIÓN DE SUELOS

En esta alternativa una cierta profundidad del suelo de fundación es retirado y remplazado por material de préstamo. La determinación de la profundidad de remplazo ha sido detallada en el capítulo de suelo de fundación. Este tipo de tratamiento es común en aquellos lugares donde se dispone de material de préstamo en zonas aledañas al lugar o cuando el tipo de suelo presenta condiciones que dificultan su estabilización mediante otros medios (turba, pantano, etc.)

La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento. La cal reduce y por consiguiente el mezclado con el cemento portland, así como reduce las cantidades de este material. (Menéndez Acurio , 2012)

2.2.6.3.3. ESTABILIZACIÓN POR CALCINACIÓN O TRATAMIENTO TÉRMICO

Es de tipo térmico, se realiza a temperaturas elevadas, superiores a los 400°C que calcinan el suelo. Esta técnica consiste en pasar gases a temperaturas cercanas a



1000°C por ductos o vacíos dentro del suelo, la distribución de la temperatura depende de la porosidad del suelo y la temperatura de los gases inyectados. (Alva Hurtado, Ugaz Palomino, & Tupia Córdova, 2000)

A temperaturas tan altas ocurren cambios irreversibles en la estructura cristalina de los minerales de arcilla. Estas alteraciones se ven reflejadas en las propiedades físicas que obviamente sufrirán modificaciones sustanciales como el índice plástico, el cual tiende a disminuir de manera notoria; la capacidad de absorción del agua también varía al igual que la expansividad y la compresibilidad las cuales disminuirán. (Ravines Merino, 2010)

Este tipo de estabilización no es económica para suelos saturados.

2.2.6.3.4. ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS

A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geomallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de sub rasante inadecuada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.6.3.5. ESTABILIZACIÓN POR DRENAJE

Consiste en un drenaje superficial y desagüe subterráneo. Se colocan sistemas de canalizaciones y tubos subterráneos que captan el agua y la sacan de la zona en que se sitúa la estructura; de tal manera que se pueda canalizar el agua proveniente de cualquier dirección a través de éstos canales y cunetas; alejándola de la zona de la obra. El fin es evitar impactos negativos de las aguas sobre la estabilidad, durabilidad y transitabilidad de la carretera. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.3.6. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento portland, entre otros. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante



para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido. (Ravines Merino, 2010)

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías: (Gamica Anguas, 2002)

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.
- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.
- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola.

Las estabilizaciones químicas más comunes son:

- **Estabilización de suelos con asfalto:** El asfalto produce diferentes efectos dependiendo de los suelos con los que se trabaje: a) Para las arenas finas, sin cohesión alguna, el asfalto produce resistencia y actúa como un agente cementante, b) a los suelos gravosos les proporciona resistencia cohesiva e impermeabilidad, a esta mezcla se le deben agregar también partículas finas para llenar los vacíos. (Ravines Merino, 2010)
- **Estabilización de suelos-cemento:** Aplicable para estabilizar suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares con el objetivo de aportarles mayor resistencia.

El suelo/cemento es un material estructural; el cual es la unión de suelo convenientemente pulverizado más cemento portland normalmente se utiliza el cemento tipo I (ya que permite alcanzar mayor resistencia por su contenido de aluminio tricálcico y sulfato de calcio), mezclado de manera íntima y homogénea y compactado a una densidad máxima con un contenido de humedad óptimo. (Ravines Merino, 2010)

Al hidratarse el cemento, la mezcla se convierte en un material de pavimento resistente y durable capaz de soportar las tensiones a las que se le someten por las cargas del tránsito y las acciones del clima. Contenidos de cemento

mayores a los requeridos conllevarán a agrietamientos por contracción causados por los cambios de temperatura y variaciones de humedad.

Para que se pueda utilizar la mezcla suelo/cemento; los suelos estudiados deben tener un IP menor a 20 y un mínimo de 45% de material pasante de la malla N° 40.

Como en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el límite líquido y a incrementar el índice plástico y la manejabilidad de los suelos arcillosos. Para suelos arcillosos, la estabilización con cemento es efectiva cuando el límite líquido es menor que 45 – 50 y el índice plástico es menor que aproximadamente 25.

Comportamiento a fatiga de suelos estabilizados 91 por volumen para la estabilización efectiva de varios tipos de suelos. (Braja M Das., 1983)

TABLA N°8: Volumen de cemento para estabilización según tipo de suelo

TIPO DE SUELO		Porcentaje de cemento por volumen
Clasificación AASHTO	Clasificación unificada	
A-2 y A-3	GP, SP y SW	6 – 10
A-4 y A-5	CL, ML y MH	8 – 12
A-6 y A-7	CL, CH	10 – 14

Fuente: Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



- **Estabilización de suelos con cal:** El uso de la cal en la estabilización de suelos es para mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima. La incorporación de cal mejora en muchos casos las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y por sobre todo, aumentando considerablemente el valor soporte, acción que se ha demostrado continua en función del tiempo. (Menéndez Acurio , 2012)

Se le aplica a suelos arcillosos buscando reducir su plasticidad. Logra mejorar gradualmente la resistencia del suelo de un modo significativo pues baja el potencial cambio de volumen de estos suelos producidos por las variaciones de humedad, así reduce el índice de plasticidad.

Para considerar el uso de la cal como estabilizador el IP del suelo deberá ser mayor a 10.

Existen diferentes tratamientos que se le puede dar al suelo dependiendo de que tanto queramos mejorar las propiedades, así: una mínima cantidad de cal se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos; con éste tratamiento se obtiene como resultado una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales.

Cuando queremos un tratamiento mucho más duradero, podemos recurrir a la estabilización permanente con cal, obteniendo como resultado una mejora estructural permanente del suelo. Podemos utilizar la cal en tres “tipos” distintos: cal viva, cal hidratada (se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua) o una lechada de cal (es la suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o cal viva). La cal hidratada es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante. (Ravines Merino, 2010)

Los suelos tratados con cal y sujetos a períodos de congelamiento y descongelamiento pueden presentar inconvenientes y problemas de durabilidad.



Los suelos que comúnmente se suelen estabilizar usando cal son los suelos clasificados como: CH, CL, MH, SM, SC, GC, con un índice de plasticidad mayor de 19 y con un porcentaje del 25% de finos que pasan la malla N° 200.

2.2.6.3.7. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS EMPLEANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS

Para esta nueva tecnología tenemos tres tipos distintos de estabilización. Si leemos con detenimiento los tres se centran en la capacidad de intercambio de las partículas de los elementos. (Di Rado R., Fabre E., & Miño, 2000)

- Estabilización iónica

Aplicada a suelos finos. El principio básico es un fuerte intercambio iónico entre el agente estabilizador con las partículas de arcilla mineral, de esta forma se desplaza el agua de adsorción ocupando el espacio iónico vacante, así se bloquea la capacidad de adsorción de agua de las partículas activas del suelo responsables del hinchamiento y la pérdida de su capacidad soporte. Las partículas libres de las cargas electrostáticas que las mantenían separadas y del agua que las rodeaba se acercan y aglomeran pudiendo aumentar la capacidad de carga por fricción entre partículas y lograr una mayor densidad por compactación. (Ravines Merino, 2010)

El resultado final óptimo debería consistir en una estabilización más permanente.

- Estabilización con enzimas orgánicas

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas hasta hacerlas instantáneas o casi instantáneas, son catalizadores altamente específicos. La especificidad de las enzimas es tan marcada que en general actúan exclusivamente sobre sustancias que tienen una configuración precisa. (Ravines Merino, 2010)

Como son moléculas estrictamente proteicas, éstas también sufren desnaturalización, no dializan y también pueden sufrir saturación. La desnaturalización de las enzimas es un cambio estructural en las proteínas donde pierden su estructura tridimensional o conformación química, de esta forma pierden a su vez su óptimo funcionamiento y a veces cambian sus propiedades físico-



químicas; por ejemplo cuando las enzimas están desnaturalizadas pierden su actividad catalítica, pues los sustratos no pueden unirse al centro activo y porque los residuos de los aminoácidos implicados en la estabilización de los sustratos no están posicionados para hacerlo. La desnaturalización surge cuando la proteína es alterada por algún factor, sea éste físico o químico. Entre los factores físicos está el calor y factores químicos como el pH, los disolventes orgánicos y la fuerza iónica. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.3.8. ESTABILIZACIÓN CON POLÍMEROS

Los polímeros son macromoléculas (resultado de la unión de un gran número de moléculas pequeñas de un mismo tipo o de diferentes tipos), generalmente orgánicas llamados monómeros; pueden estar formadas por más de un tipo de monómero, éstas se denominan homopolímeros o estar formados por más de un tipo de monómeros denominándose copolímeros. Las maneras de unión de las unidades estructurales de los polímeros tanto naturales como artificiales pueden ser en varias direcciones, así se pueden obtener polímeros lineales o en más de una dirección dando lugar a los polímeros reticulares tridimensionales. (Ravines Merino, 2010)

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. Los polímeros en general, tienen una muy buena resistencia mecánica, esto debido a sus grandes cadenas poliméricas que atraen; estas fuerzas de atracción intermolecular dependen de la composición química del polímero, las más comunes son las fuerzas de Van der Waals. Esto se traduce en una muy alta resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga. (Choque Godoy, 2006)

Generalmente los polímeros a utilizar en las distintas industrias son los polímeros sintéticos, que son aquellos creados por el hombre. El uso de éstos en las carreteras tiene como fin de aumentar la estabilidad de los agregados y reducir la dispersión de las arcillas.

Muchos plásticos, cauchos y materiales fibrosos son polímeros sintéticos. Las técnicas de estabilización no están muy estudiadas aún si bien en el mercado ya se



encuentran muy pocos productos a base de polímeros. La estabilización con estos productos tiene el mismo fin que otras técnicas de estabilización: estabilizar e impermeabilizar el suelo para que sean aptos para su uso vial.

Los polímeros actúan como agentes catalíticos de intercambio iónico sobre la fracción activa de las arcillas reduciendo el potencial electrostático de las partículas, quitándoles la capacidad para absorber agua. Con el objetivo que al final el suelo tenga una mayor capacidad de carga y una estabilización permanente.

Los polímeros se usan generalmente en carpetas asfálticas, para darles una mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.4. FUNDAMENTOS PARA LA ESTABILIZACIÓN PARA CANTERAS

La estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad son las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de éstas propiedades.

2.2.6.4.1. ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA

Los problemas de estabilidad volumétrica se originan sobretodo en suelos expansivos, licuables (ante cargas dinámicas) y suelos colapsables; relacionados por los cambios de humedad de éstos, originando en muchos casos por ejemplo levantamiento de los pavimento rígido (si son suelos expansivos); a su vez el cambio de humedad, está relacionado con los cambios estacionales, o depende de la actividad del ingeniero.

Para el desarrollo de esta propiedad nos enfocaremos en los suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de hinchamiento o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo de estas características la finalidad principal es transformar esa masa de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa granulada pero con una capacidad de expansión mínima; esto es unir las partículas que la forman, de tal manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto generalmente se logra con la



aplicación de tratamientos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los tratamientos químicos son efectivos; los tratamientos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

2.2.6.4.2. RESISTENCIA

Para mejorar esta propiedad se suele usar la estabilización mecánica (compactación). Algunas formas de estabilización más usadas para lograr una mayor resistencia son:

- Compactación
- Precarga
- Drenaje
- Estabilización mecánica con mezclas de otros suelos
- Estabilización química con cemento, cal u otros aditivos.

La falta de resistencia ocurre sobretodo en suelos orgánicos, ya que la presencia de material orgánico no permite la buena estabilización de estos suelos. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.4.3. PERMEABILIDAD

Es la capacidad que tiene un medio de transmitir agua (u otra sustancia); el medio es permeable cuando éste deja pasar a través de él una cantidad significativa de fluido, y es impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros; en este caso son los espacios vacíos que le permiten absorber el agua; a su vez estos espacios vacíos están interconectados de tal forma que dispone de caminos por los que el agua puede pasar fácilmente; si no ocurre esto, es decir, la cantidad de espacios vacíos es mínima; entonces el suelo será impermeable. (Ravines Merino, 2010)

Si la presión de poros es elevada provocará deslizamientos y el flujo de agua a través del suelo puede provocar el arrastre de las partículas sólidas originando tubificación.

El tamaño de los poros tiene gran importancia con respecto a la cantidad de agua que se mueve hacia dentro del suelo (filtración), y al movimiento a través del agua (percolación).

La permeabilidad también se ve afectada por la textura y la estructura del suelo; las que a su vez dependerán del número y del tamaño de los poros del suelo.

Según la textura, mientras el suelo sea más fino (textura más fina) más lenta será su permeabilidad; como vemos en el siguiente cuadro:

TABLA N°9: Permeabilidad según la textura del suelo

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

TABLA N°10: Permeabilidad según la estructura del suelo.

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	- Gran traslapo	De muy lenta a muy rápida
	- Ligeramente traslapo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.2.6.4.4. COMPRESIBILIDAD

Es el grado en que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Esta propiedad afecta a otras como la permeabilidad; también altera la magnitud y el sentido de las fuerzas interpartículas; modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o pudiendo provocar deslizamientos.



Si hablamos de los suelos de textura gruesa (gravas y arenas); la compresibilidad será mínima, pues sus partículas están en contacto. Nos centraremos en los suelos de grano fino, las arcillas y limos; si se comprime una masa húmeda de estos suelos, se produce una reducción en su volumen, pues gran parte de la humedad y el aire presentes se eliminarán; la compresibilidad llega al máximo mientras mayor cantidad de materia orgánica esté presente. La compresibilidad es aproximadamente proporcional al índice de plasticidad; mientras mayor es el índice plástico mayor es la compresibilidad del suelo. (Ravines Merino, 2010)

2.2.6.4.5. DURABILIDAD

Esta propiedad se relaciona con la resistencia al intemperismo, erosión o a la abrasión del tránsito; generalmente se asocia a los suelos cercanos a la superficie de rodamiento. Una de las maneras de mejorarla es la adición de químicos; dependiendo del tipo de suelo. (Ravines Merino, 2010)

2.2.7. POLÍMERO ADHESIVO NATURAL

2.2.7.1. DEFINICIÓN

Las colas animales están formadas por gelatina, que se obtiene a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos. Se presentan en forma sólida (tabletas, láminas, escamas, sémola y perlas), o líquida. Por su origen pueden ser de conejo, ovinos y bovinos, obteniéndose a partir de la cocción de pieles, huesos o residuos de los animales; por otro lado se obtienen también las de pescado, entre las que la de esturión ofrece la mayor calidad. Las colas animales se siguen utilizando en restauración por sus buenas propiedades y características similares a las empleadas originalmente, así como su reversibilidad con agua caliente, aunque presentan los inconvenientes de su preparación, conservación, endurecimiento y cristalización (Productos de Conservacion y Restauracion, 2010).

2.2.7.2. COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS

Según el análisis físico-químico del polímero adhesivo natural (cola de carpintero) se determinó los porcentajes de sus componentes principales:

TABLA N°11: Componentes del polímero adhesivo natural.

Componentes	Porcentaje
Humedad	8.80 %
Proteína	75.50 %
Grasa	0.90 %
Ceniza	1.20 %
Carbohidratos	13.60 %

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.2.7.3. TIPOS

Entre los diferentes adhesivos animales tenemos los siguientes (Productos de Conservacion y Restauracion, 2010):

- COLA DE LIEBRE: Genuina cola elaborada a partir de la piel y los cartílagos de liebre.
- COLA DE CONEJO GENUINA: Cola de origen animal, empleada en el tratamiento de consolidación de capa pictórica, adhesivo, etc. Presentación en placas, granulado.
- COLA DE CARTÍLAGOS: Alta adhesividad, similar a la cola de conejo, pero procedente del ganado bovino.: Presentación en gránulos.
- COLA DE CARPINTERO: Tradicionalmente llamada cola de pencas o cola fuerte, ha sido actualmente sustituida por la cola blanca para su empleo en carpintería. Utilizada en los métodos tradicionales de sentado de color y en la pasta de la forración de cuadros. Se suministra en perlas y placas.
- COLA DE ENCUADERNACIÓN: Cola de origen animal de color claro, en polvo para encuadernación y trabajos de dorado.
- GELATINA DE PESCADO: Cola de origen animal que toma materia prima en su composición las espinas y los subproductos de pescado. Por su escaso peso molecular y su menor viscosidad en concentraciones bajas es ideal para la protección y consolidación de capas pictóricas. Presentación en láminas y polvo
- FU-NORI: Cola a base de un mucílago extraído de tres algas marinas; se utiliza para consolidar pinturas mates y obra gráfica por sus excelentes propiedades ópticas.
- COLA DE ESTURION RUSA: Adhesivo preparado con las espinas y pieles de este pez; es la cola más pura y compacta, y la que ofrece mayor



adhesividad en concentraciones más bajas, por lo que su grado de penetración es también mayor. Estas características la hacen muy apropiada para consolidación de capa pictórica y de preparación. Su empleo es más frecuente en los países nórdicos y del este de Europa. Ofrecemos dos calidades suministradas por la firma Kremer Pigmente, siendo la Salianski - Kremer la mejor disponible en el mercado.

2.2.7.4. FABRICACIÓN DE COLAS ANIMALES

Los adhesivos animales se extraen de residuos como pieles, cartílagos y huesos de mamíferos, cuya proteína principal es el colágeno, que es soluble en agua. Para la obtención de la mezcla adhesiva es necesario tratar estas materias primas según un proceso de manufactura en el que, mediante la aplicación de calor por un tiempo prolongado, se producirá la separación de las cadenas que forman el colágeno y les permitirá formar soluciones coloidales con el agua en forma de microagregados de partículas. Las condiciones a las que se realicen estos procesos, así como los tratamientos aplicados en ellos, darán lugar a una mezcla más o menos pura y con distintas propiedades físico-químicas. (Fuster López, 2012)

2.2.7.5. APLICACIÓN DEL POLÍMERO ADHESIVO NATURAL

2.2.7.5.1. RESTAURACIÓN

Las colas animales se siguen utilizando en restauración por sus buenas propiedades y características similares a las empleadas originalmente, así como su reversibilidad con agua caliente, aunque presentan los inconvenientes de su preparación, conservación, endurecimiento y cristalización (Conocimiento con Todos y Para Todos, 2010).

2.2.7.5.2. CARPINTERÍA

Una de las herramientas que ha existido desde los inicios de la construcción son los Adhesivos. En carpintería y bricolaje estos juegan un papel esencial. No se tiene registro exacto de cuándo se comenzó a usar el pegamento o cola para madera, pero a la fecha se siguen fabricando algunos a base de huesos y restos animales, esto con fines artesanales (Hobby Carpinteria, 2015).



2.2.7.5.3. TARRAJEO

Se hace el tarrajeo de las casas de barro en los lugares alto andinos como podemos observar en los alrededores del Cusco, haciendo uso de la cola de carpintero en proporciones experimentales.

2.2.8. ENSAYOS DE LABORATORIO

2.2.8.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

La cantidad de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. (Bowles, 1981)

2.2.8.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

El estudio de las propiedades de los suelos, se fundamenta en que las propiedades mecánicas dependen directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños.

El objetivo principal es determinar la distribución de las partículas en función de su tamaño, de una muestra representativa de suelo de grano grueso, mediante un ensayo granulométrico por tamizado. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

2.2.8.3. LÍMITES DE CONSISTENCIA

2.2.8.3.1. PLASTICIDAD

Es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.8.3.2. LÍMITE LÍQUIDO

Límite líquido se refiere cuando el suelo pasa del estrato semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

FIGURA N°5: Ensayo de límite líquido.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

El contenido de agua existente en este límite, se define como la humedad necesaria para el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de 1/2", cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

2.2.8.3.3. LÍMITE PLÁSTICO

Límite plástico se refiere cuando el suelo pasa de un estrato semisólido y se rompe.

Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólido. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo puede ser rolado en hilo de 3.2mm sin que se rompa en pedazos. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

FIGURA N°6: Ensayo de límite plástico.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

2.2.8.3.4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Se denomina índice de plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido de Límite Líquido y Límite Plástico de una muestra de suelo; es el índice de consistencia más importante, dado que su valor permite conocer cuan plástico es un material. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

Matemáticamente está representada por la siguiente relación:

$$IP = LL - LP$$

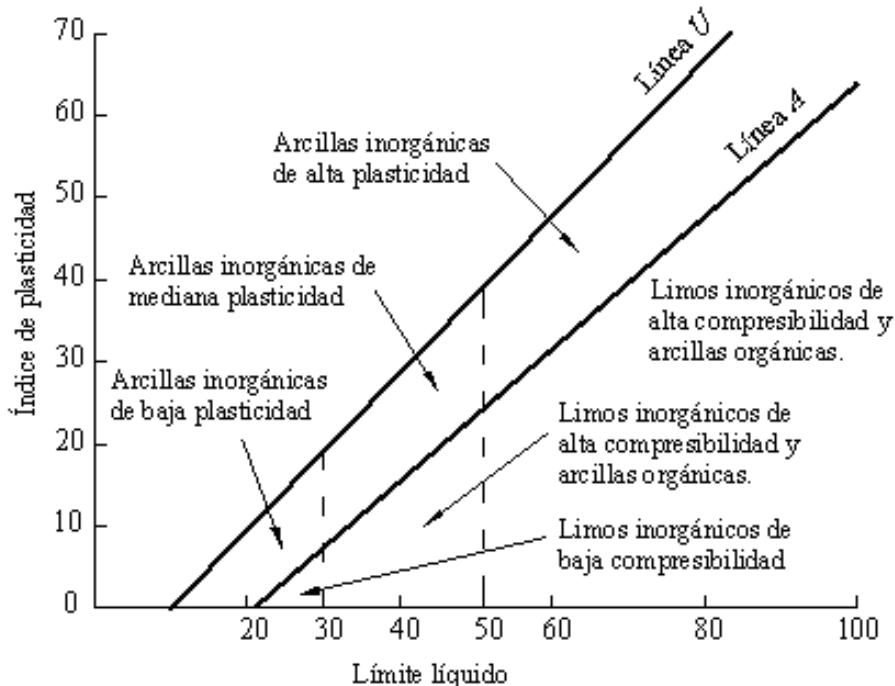
DONDE:

IP: Índice de plasticidad

LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

FIGURA N°7: Índice de plasticidad.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



2.2.8.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

2.2.8.4.1. DEFINICIÓN

La clasificación de los suelos es un indicador de las propiedades físico mecánicas que tienen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la clasificación de AASHTO M-145: las primeras variables son: La granulometría y la plasticidad en términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así: (Iturbide, 2002)

- Grava: De un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta el tamiz N°. 10 (2mm)
- Arena Gruesa: De un tamaño menor a 2 mm hasta el tamiz N°. 40 (0.425 mm)
- Limos y Arcillas: Tamaños menores de 0.075 mm

Un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz N°200 (0.075 mm), los cuales clasifican como A (4, 5, 6, 7). Dos suelos considerados finos que tengan granulometrisas similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz N° 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son: (Iturbide, 2002)

- Límite Líquido (LL): Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado a un estado semilíquido.
- Límite Plástico (LP): Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo.

Índice de plasticidad (IP): Es la diferencia entre el LL y LP, que nos indica la capacidad del material.

2.2.8.4.2. CLASIFICACIÓN SUCS

El sistema divide los suelos en dos grupos principales, gruesos y finos, en función del pasante por el tamiz n° 200. Los suelos de grano grueso se dividen en gravas y arenas según el pasante por el tamiz n°4. Estas gravas o arenas, a su vez, se clasifican dependiendo del porcentaje de finos que presentan (% del pasante por el tamiz n°200) en limpias y sucias. (Márquez, 2006)

TABLA N°12: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.

DIVISIÓN MAYOR		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 Ø	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GRAVA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		
		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos		
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos		
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Ø Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas, visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arcillosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
			LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

Fuente: Crespo Vilalaz (Mecánica de Suelos y Cimentaciones)

Este sistema de clasificación considera símbolos para denominar los distintos grupos de suelos. Los suelos toman la denominación del material que más abunda en su constitución. Denomina materiales granulares a aquellos que tienen partículas de tamaño mayor a 0.075mm – mala #200 y denomina materiales finos a los de menor tamaño. También se consideran en grupos distintos los suelos finos orgánicos y la turba.

2.2.8.4.3. CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema distingue siete grupos básicos. El mejor suelo utilizado para construcción de carretera viene clasificado como de tipo A.1, sigue en calidad el A-2, continuando hasta el A-7 que es el que presenta las peores características para fines de estructura o fundación del pavimento. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

TABLA N°13: Sistema de Clasificación AASHTO

Clasif. General	Suelos Granulares (≤ 35% pasa 0,08 mm)						Suelos Finos (> 35% Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A - 7 - 5 : IP ≤ (wL - 30)						** A - 7 - 6 : IP > (wL - 30)					
$IG = (B / 0,08 - 35)(0,2 + 0,005 (wL - 40)) + (B / 0,08 - 15)(IP - 10) x 0,01$ <p>* Para A - 2-6 y A - 2-7 : $IG = (B / 0,08 - 15)(IP - 10) x 0,01$ Si el suelo es NP → $IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$</p>											

Fuente: Sistema de Clasificación AASHTO

Los tipos de suelo que establece el sistema son:

A-1-a: Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.

A-1-b: Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.

A-2-4: Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5: Intermedio.

A-2-6: Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-2-7: Intermedio.

A-3: Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.

A-4: Principalmente partículas finas limosas.

A-5: Tipos de suelos poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticas y difíciles de compactar.

A-6: Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

A-7-5: Las arcillas y limos más plásticos.

A-7-6: Las arcillas y limos más plásticos.(Márquez, 2006)

2.2.8.4.4. CORRELACIÓN DE LOS SISTEMAS SUCS Y AASHTO

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

TABLA N°14: Correlación de Tipos de Suelo

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

2.2.8.4.5. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En base a la información obtenida de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio se realizará una descripción de los diferentes tipos de suelos encontrados en las calicatas o pozos. Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán de diseño y se establecerá el programa de ensayos para definir el CBR de diseño para cada sector homogéneo.

2.2.8.4.6. DESCRIPCIÓN DE SUELOS

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales:

FIGURA N°8: Signos convencionales para perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Sistema de Clasificación AASHTO

FIGURA N°9: Signos convencionales para perfil de Calicatas – Clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variacion en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variacion en tamaños granulares y cantidades de particulas en tamaños intermedios		Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de particulas intermedios		Limo inorganico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

2.2.8.5. PROCTOR MODIFICADO

Se llama compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, esfuerzo-deformación y disminuir la compresibilidad de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción de los vacíos.

Esto se logra mediante un molde de volumen dado y un pistón de 10Lb. que cae libremente desde una altura de 18", determinar un contenido óptimo de humedad para el cual se alcanza la máxima densidad seca a una determinada energía de compactación. (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

2.2.8.6. RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

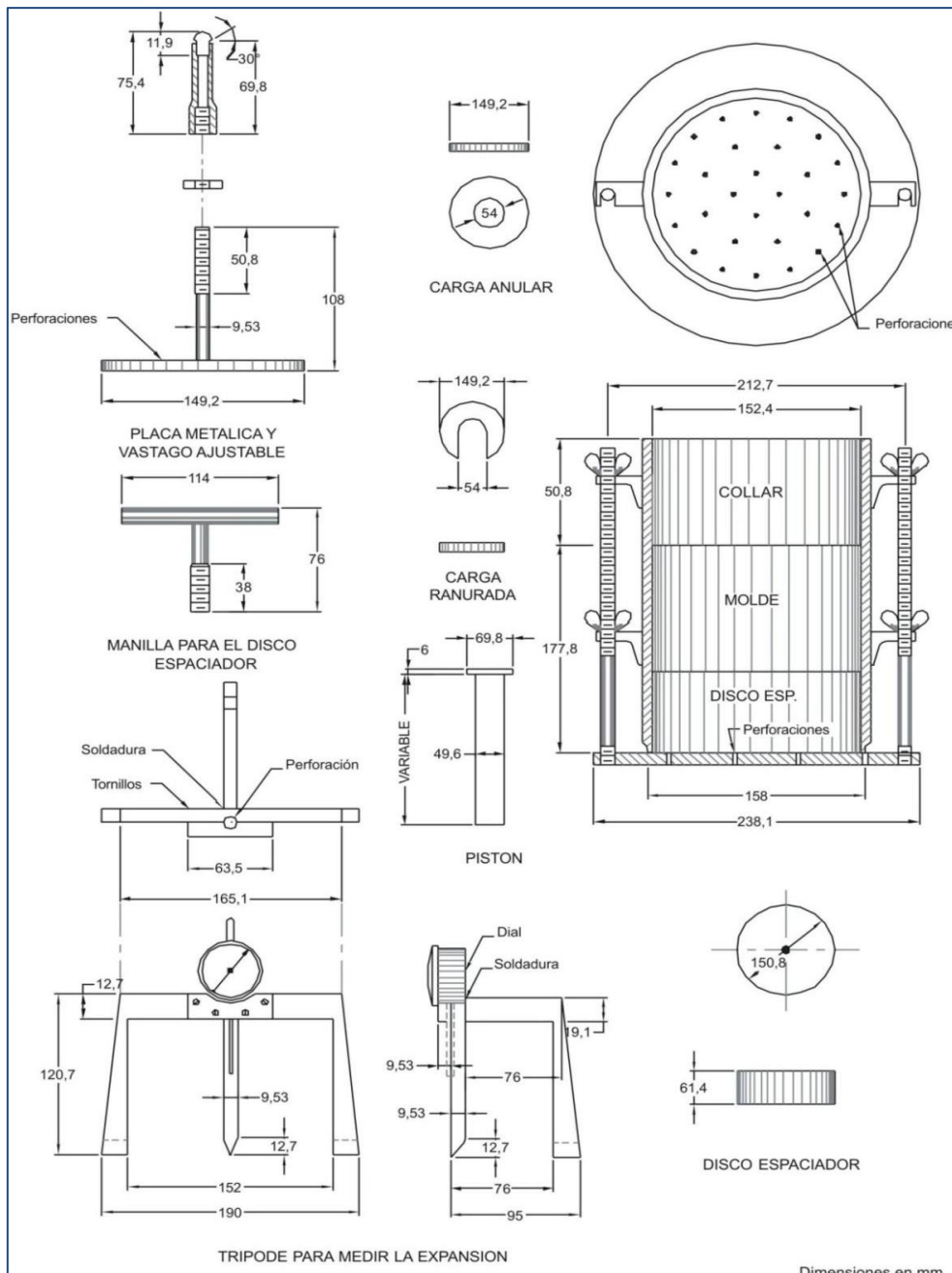
Ensayo conocido como CBR, que son las iniciales en inglés (California Bearing Ratio). El CBR se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro de suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida. El CBR de un suelo varía con su compactación, su contenido de humedad al compactar y el contenido de humedad cuando se ensaya. (Bowles, 1981)

TABLA N°15: Categorías de Subrasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

FIGURA N°10: Aparato de CBR



Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay

Se determina la resistencia al esfuerzo cortante por punzonado de los materiales granulares compactados. Dicha resistencia para las mismas condiciones de carga y penetración en el material granular compactado. (Bowles, 1981)



Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (19 mm), el ensayo es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4"). (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2011)



CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Método cuantitativo: Se basa en los números para investigar, analizar y comprobar información y datos; este intenta especificar y delimitar la asociación o correlación existente, además de la fuerza de las variables, la generalización y objetivación de cada uno de los resultados obtenido; para esto se necesita una recolección metódica u ordenada, y analizar toda la información numérica que se tiene. (D'Ancona, 1998)

La investigación es cuantitativa por que las relaciones y demostraciones se realizan a través de la medición de las variables, además se tiene un proceso secuencial. Se parte de una premisa particular y termina en algo puntual. Se puede demostrar a través del ensayo de muestras de suelo mejorado y sin mejorar para sub-rasante de pavimento rígido.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Danke, 1986). Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir (Sampieri, 1998).

Estudios relacionales: Estudios en los que se busca la relación o asociación entre variables, sin establecer causalidad. No pretende establecer relación causa-efecto sino relación entre eventos que se dan con cierta secuencia en el tiempo entre uno y otro. Son estudios de asociación sin dependencia. La estadística que se aplica es bivariada (Martínez).

La presente investigación es descriptiva-relacional, debido a que se mide, evalúa y relaciona aspectos y componentes del suelo mejorado con polímero adhesivo natural. Además se busca especificar las propiedades importantes para medir y evaluar la resistencia al corte y la relación de soporte del suelo.



3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Método hipotético-deductivo: Es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método tiene los siguientes pasos:

- Observación
- Creación de una hipótesis
- Deducción de consecuencias
- Verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

Este método obliga a combinar la reflexión racional o momento racional (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico (Diccionario de psicología científica y filosófica).

La investigación es hipotética-deductiva porque para realizarla se parte de una hipótesis general e hipótesis específicos, las cuales son demostradas mediante un proceso de investigación.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

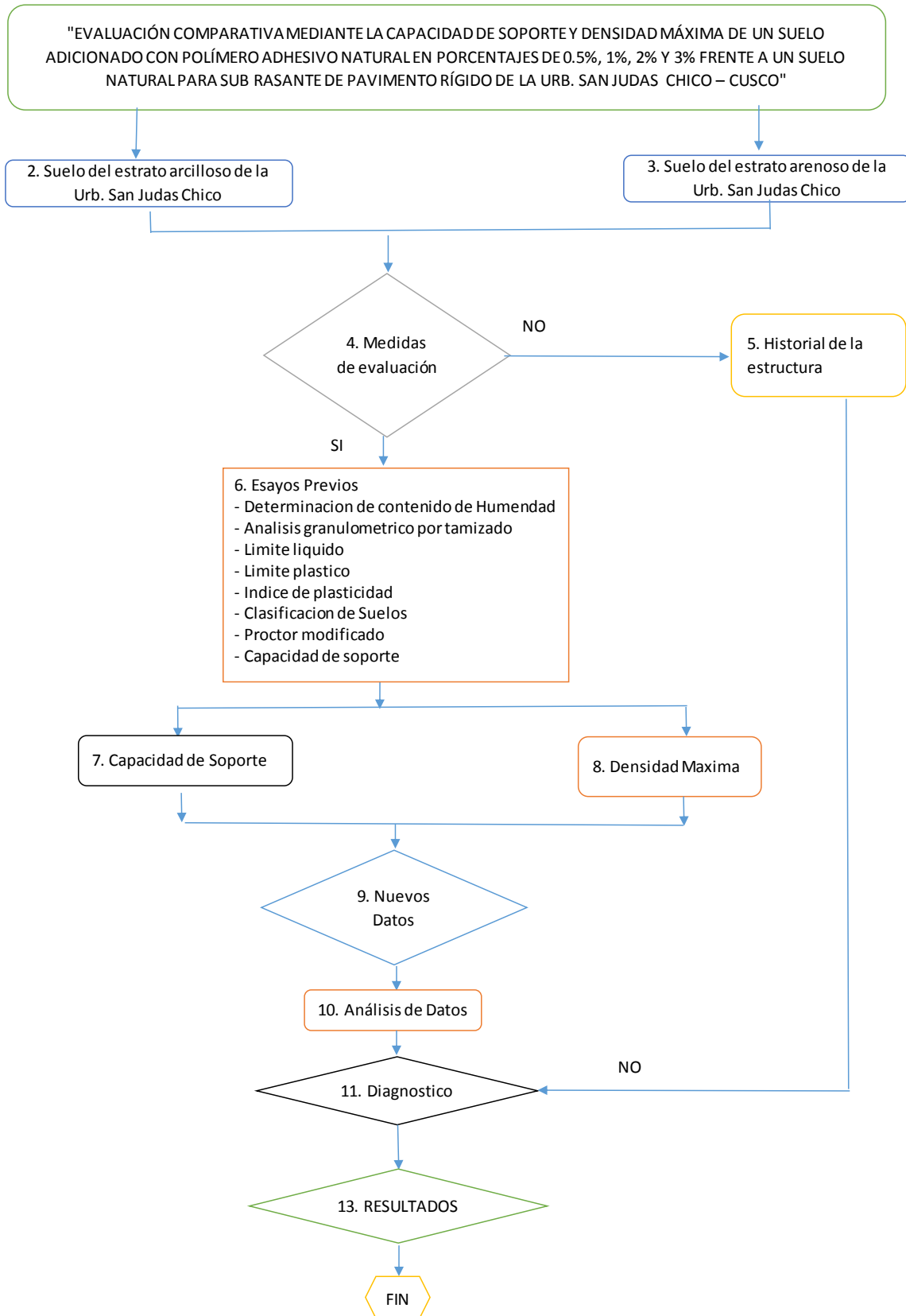
3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

Investigación cuasi experimental: Es particularmente útil para estudiar problemas en los cuales no se puede tener control absoluto de las situaciones, pero se pretende tener el mayor control posible, aun cuando se estén usando grupos ya formados. Una característica es el incluir “grupos intactos”, es decir grupos ya constituidos (Jiménez, 1991).

El diseño de la investigación es cuasi experimental debido a que no es experimental por completo. Se manipula la variable de polímero adhesivo natural, se realizan los ensayos de capacidad de soporte y densidad máxima, los cuales serán sometidos a comparación.

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA

FIGURA N°11: Diseño de ingeniería



Fuente: Elaboración propia.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Los principales elementos que componen la siguiente investigación son:

- Suelo de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico
- Suelo de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico
- Polímero adhesivo natural
- Agua potable

Se obtuvo el material de 2 calicatas de la Urbanización San Judas Chico, el cual separamos por estrato: arcilloso y arenoso, para determinar el efecto de la adición del polímero adhesivo natural en los tipos de suelos encontrados en la cantera.

TABLA N°16 Descripción de la muestra

		Adición de polímero adhesivo natural				
		+ 0%	+ 0.5%	+ 1%	+ 2%	+ 3%
Muestra de suelo	Suelo de estrato arcilloso	1	1	1	1	1
	Suelo de estrato arenoso	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población está conformado por:

- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico sin la adición de polímero adhesivo natural.
- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3%.
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico sin la adición de polímero adhesivo natural.
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3%.

Teniendo un total de 10 elementos en el universo.



3.3.2. MUESTRA

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra está compuesta por 10 muestras de suelo de la Urbanización San Judas Chico con diferente porcentaje de adición de polímero adhesivo natural, que viene a ser el total de lo descrito en la población.

La cantidad de adición de polímero adhesivo natural será en diferentes porcentajes en peso.

3.3.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico sin la adición de polímero adhesivo natural.
 - 01 Ensayo de contenido de humedad
 - 01 Ensayo de granulometría.
 - 01 Ensayo de límite líquido y plástico.
 - 01 Ensayo de densidad máxima.
 - 01 Ensayo de CBR en laboratorio.
- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%.
 - 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 1%.
 - 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 2%.
 - 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 3%.
 - 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).



- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico sin la adición de polímero adhesivo natural.
 - o 01 Ensayo de contenido de humedad
 - o 01 Ensayo de granulometría.
 - o 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - o 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%.
 - o 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - o 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 1%.
 - o 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - o 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 2%.
 - o 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - o 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).
- Material de estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico con la adición de polímero adhesivo natural en porcentajes de 3%.
 - o 01 Ensayo de densidad máxima (Proctor modificado).
 - o 01 Ensayo de capacidad de soporte (CBR).

3.3.2.3. MÉTODO DE MUESTREO

El método de muestreo utilizado para las 10 muestras fue no probabilístico. Las muestras del suelo de los estratos arcilloso y arenoso fueron tomadas de la Urb. San Judas Chico según la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos.

3.3.2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE MUESTRA

Los ensayos no deben presentar deficiencia en la elaboración, medición o ampliación del ensayo de resistencia.



3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

3.3.3.1. CRITERIO DE INCLUSIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

- Muestras de suelo del estrato arcilloso de la Urbanización San Judas Chico.
- Muestras de suelo del estrato arenoso de la Urbanización San Judas Chico.

Se hicieron ensayos para conocer la granulometría, humedad natural, limite líquido, limite plástico; parámetros importantes para los ensayos de Proctor Modificado y CBR, para conocer así la capacidad de soporte y densidad máxima.

3.3.3.2. CRITERIO DE INCLUSIÓN DEL ADITIVO

El aditivo utilizado en esta investigación es el polímero adhesivo natural, obtenido a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos de animales y se presentan en forma de tabletas. La adición del polímero adhesivo natural se hará en porcentajes de peso de 0.5%, 1%, 2% y 3%.


3.3.3.3. CRITERIO DE INCLUSIÓN DE AGUA

El agua es potable, proveniente del abastecimiento de la red pública que brinda SEDACUSCO.

3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – HUMEDAD NATURAL

TABLA N°17: Tabla de recolección de datos-Humedad natural


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: HUMEDAD NATURAL	
MUESTRA	: Suelo arenoso	
FECHA	:	
LUGAR	:	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	

HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E108-2000)		
N° TARRO		
SUELO HUMEDO		
SUELO SECO		
AGUA		
PESO DEL TARRO		
PESO DEL SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		
HUMEDAD PROM. (%)		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE SUELO ARCILLOSO DE LA URBANIZACIÓN DE SAN JUDAS CHICO


TABLA N°18: Taba de recolección de datos-Granulometría de la muestra suelo arcilloso de la Urb. San Judas Chico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 UAC																																																															
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																																	
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)																																																																	
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO : NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO																																																																
ENSAYO	: GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE SUELO ARCILLOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO																																																																
MUESTRA	:																																																																
FECHA	:																																																																
LUGAR	:																																																																
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">TAMIZ</th> <th style="width: 20%;">ABER. (mm)</th> <th style="width: 60%;">PESO RET.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>75.000</td><td></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>63.500</td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.800</td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.100</td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.400</td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.050</td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.500</td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.500</td><td></td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6.350</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 4</td><td>4.750</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 8</td><td>2.360</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 10</td><td>2.000</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 16</td><td>1.100</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 20</td><td>0.840</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 30</td><td>0.600</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 40</td><td>0.425</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 50</td><td>0.300</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 100</td><td>0.150</td><td></td></tr> <tr><td>Nº 200</td><td>0.075</td><td></td></tr> <tr><td>< Nº 200</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.	3"	75.000		2 1/2"	63.500		2"	50.800		1 1/2"	38.100		1"	25.400		3/4"	19.050		1/2"	12.500		3/8"	9.500		1/4"	6.350		Nº 4	4.750		Nº 8	2.360		Nº 10	2.000		Nº 16	1.100		Nº 20	0.840		Nº 30	0.600		Nº 40	0.425		Nº 50	0.300		Nº 100	0.150		Nº 200	0.075		< Nº 200		
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.																																																															
3"	75.000																																																																
2 1/2"	63.500																																																																
2"	50.800																																																																
1 1/2"	38.100																																																																
1"	25.400																																																																
3/4"	19.050																																																																
1/2"	12.500																																																																
3/8"	9.500																																																																
1/4"	6.350																																																																
Nº 4	4.750																																																																
Nº 8	2.360																																																																
Nº 10	2.000																																																																
Nº 16	1.100																																																																
Nº 20	0.840																																																																
Nº 30	0.600																																																																
Nº 40	0.425																																																																
Nº 50	0.300																																																																
Nº 100	0.150																																																																
Nº 200	0.075																																																																
< Nº 200																																																																	
PESOS INICIALES																																																																	
PESO TOTAL	:	gr																																																															
PESO FINO	:	gr																																																															

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URBANIZACIÓN DE SAN JUDAS CHICO - CUSCO


TABLA N°19: Tabla de recolección de datos-Granulometría de la muestra del suelo arenoso de la urbanización de San Judas Chico.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO : NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO	
MUESTRA	:	
FECHA	:	
LUGAR	:	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.
3"	75.000	
2 1/2"	63.500	
2"	50.800	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	
1/4"	6.350	
Nº 4	4.750	
Nº 8	2.360	
Nº 10	2.000	
Nº 16	1.100	
Nº 20	0.840	
Nº 30	0.600	
Nº 40	0.425	
Nº 50	0.300	
Nº 100	0.150	
Nº 200	0.075	
< N° 200		
PESOS INICIALES		
PESO TOTAL	:	gr
PESO FINO	:	gr

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – LÍMITE LÍQUIDO

TABLA N°20 Taba de recolección de datos-Límite líquido

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
LÍMITES DE CONSISTENCIA		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: LÍMITES DE CONSISTENCIA	
MUESTRA	:	
FECHA	:	
LUGAR	:	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	
LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110)		
N° TARRO		
TARRO + SUELO HUMEDO		
TARRO + SUELO SECO		
AGUA		
PESO DEL TARRO		
PESO DEL SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		
N° DE GOLPES	16	23
		32

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – LÍMITE PLÁSTICO

TABLA N°21 Taba de recolección de datos-Límite plástico

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
LÍMITES DE CONSISTENCIA		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: LÍMITES DE CONSISTENCIA	
MUESTRA	:	
FECHA	:	
LUGAR	:	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	
LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111)		
N° TARRO		
TARRO + SUELO HUM.		
TARRO + SUELO SECO		
AGUA		
PESO DEL TARRO		
PESO DEL SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		

Fuente: Elaboración propia.



3.4.6. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – PROCTOR MODIFICADO

TABLA N°22 Taba de recolección de datos-Proctor modificado

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
---	---

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO
MUESTRA	:
FECHA	:
LUGAR	:
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HÚMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	PESO DEL MOLDE (gr.) :			
NÚMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr)				
PESO SUELO HÚMEDO COMPACTADO (gr)				
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (gr/cm3)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.				
PESO SUELO HÚMEDO + TARA (gr)				
PESO SUELOS SECO + TARA (gr)				
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)				
PESO DE SUELO SECO (gr)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMÉTRICO SECO (gr/cm3)				
DENSIDAD MÁXIMA SECA:	gr/cm3		HUMEDAD ÓPTIMA: %	

Fuente: Elaboración propia.



3.4.7. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CBR

TABLA N°23 Tabla de recolección de datos-CBR

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO												
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA												
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL												
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)												
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO											
ENSAYO	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)											
MUESTRA												
FECHA												
LUGAR												
RESPONSABLE	Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca											
COMPACTACIÓN												
Molde N°	1				2				3			
N° Capa	5				5				5			
Golpes por capa N°	56				25				12			
Cond. de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso molde + Suelo húmedo												
Peso de molde (gr)												
Peso del suelo húmedo (gr)												
Volumen del molde (cm3)												
Densidad húmeda (gr/cm3)												
Tarro N°												
Tarro + Suelo húmedo (gr)												
Tarro + Suelo seco (gr)												
Peso del Agua (gr)												
Peso del tarro (gr)												
Peso del suelo seco (gr)												
% de humedad												
Densidad seca (gr/cm3)												
EXPANSION												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		
				mm	%		mm	%		mm	%	
PENETRACIÓN												
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°				
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.			
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2		
0.000												
0.025												
0.050												
0.075												
0.100												
0.150												
0.200												
0.250												
0.300												
0.400												
0.500												

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

- Escobilla de metal

FIGURA N°12: Escobilla de metal



Fuente: Elaboración propia.

- Brocha

FIGURA N°13: Brocha



Fuente: Elaboración propia

- Espátula

FIGURA N°14: Espátula



Fuente: Elaboración propia

- **Juego de tamices**

FIGURA N°15: Juego de tamices



Fuente: Elaboración propia

- **Recipiente metálico con tapa**

FIGURA N°16: Recipiente metálico con tapa



Fuente: Elaboración propia

- **Recipiente metálico**

FIGURA N°17: Recipiente metálico



Fuente: Elaboración propia

- **Bandeja mezcladora grande**

FIGURA N°18: Bandeja mezcladora grande



Fuente: Elaboración propia

- **Regla**

FIGURA N°19: Regla



Fuente: Elaboración propia

- **Balanza electrónica**

FIGURA N°20: Balanza electrónica



Fuente: Elaboración propia

- **Tinas**

FIGURA N°21: Tinas



Fuente: Elaboración propia

- **Cocina**

FIGURA N°22: Cocina



Fuente: Elaboración propia

- **Molde de compactación**

FIGURA N°23: Molde de compactación



Fuente: Elaboración propia

- **Martillo de compactación**

FIGURA N°24: Martillo de compactación



Fuente: Elaboración propia

- **Equipo de CBR**

FIGURA N°25: Equipo de CBR



Fuente: Elaboración propia

- **Deformímetro**

FIGURA N°26: Deformímetro



Fuente: Elaboración propia

- **Máquina de compresión para CBR**

FIGURA N°27: Máquina de compresión para CBR



Fuente: Elaboración propia

3.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. MUESTREO DE LOS SUELOS

3.5.1.1. EQUIPOS

- Brocha
- Regla
- Espátula
- Balanza de precisión
- Sacos y bolsas

3.5.1.2. PROCEDIMIENTO

Toma de muestra en laboratorio (Método del cuarteo)

- Se procede a echar el material.
- Se mezcla el material.



- Se forma una ruma con el material, luego se extiende con una pala hasta darle una base circular de espesor uniforme.
- Se divide entonces el material diametralmente en cuatro partes iguales.
- Se toma como muestra representativa dos partes opuestas que tengan características aproximadamente semejantes desechando las otras dos.

3.5.1.3. TOMA DE DATOS

Peso de muestra para granulometría:

- Muestra de suelo arcilloso: 498.0 gr.
- Muestra de suelo arcilloso: 911.0 gr.

Peso de muestras para Proctor: 6 Kg.

Peso de muestras para CBR: 5.5 Kg.

3.5.2. HUMEDAD NATURAL

3.5.2.1. EQUIPOS


- Espátula
- Balanza de precisión
- horno

3.5.2.2. PROCEDIMIENTO

- Se toma una muestra representativa del suelo se pesa en la balanza de precisión.
- Se pone la muestra de suelo en una capsula para que se pueda secar en el horno o cocina.
- Seca la muestra se deja enfriar para luego ser pesada nuevamente en la balanza de precisión.

3.5.2.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°24: Porcentaje de Humedad para suelo arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: HUMEDAD NATURAL	
MUESTRA	: Suelo arcilloso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	

HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E108-2000)		
N° TARRO	-	-
SUELO HUMEDO	548.00	498.40
SUELO SECO	516.00	471.00
AGUA		
PESO DEL TARRO	135.20	135.20
PESO DEL SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		
HUMEDAD PROM. (%)		

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°25: Porcentaje de Humedad para suelo arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: HUMEDAD NATURAL	
MUESTRA	: Suelo arenoso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	

HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E108-2000)		
N° TARRO	-	-
SUELO HUMEDO	458.00	516.00
SUELO SECO	440.00	494.00
AGUA		
PESO DEL TARRO	135.20	135.20
PESO DEL SUELO SECO		
% DE HUMEDAD		
HUMEDAD PROM. (%)		

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. GRANULOMETRÍA

3.5.3.1. EQUIPOS

- Balanza de precisión
- Brocha
- Serie de tamices

3.5.3.2. PROCEDIMIENTO

- Se toma una muestra del suelo separado por el método de cuarteo y se procede a la operación de tamizado.
- Se lava la muestra con ayuda de un tamiz #200.
- Secar la muestra.

- La operación del tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en ningún caso se debe inducir con la mano para lograr el paso de una partícula a través del tamiz.

FIGURA N°28: Tamizado de las muestras




Fuente: Elaboración propia

- Finalmente, tomamos el peso del material retenido en cada tamiz.


3.5.3.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°26: Recolección de datos de granulometría de suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE SUELO ARCILLOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO	
MUESTRA	: Suelo arcilloso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.
3"	75.000	
2 1/2"	63.500	
2"	50.800	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	
1/4"	6.350	
N° 4	4.750	2.3
N° 8	2.360	9.7
N° 10	2.000	3.3
N° 16	1.100	5.1
N° 20	0.840	7.5
N° 30	0.600	12.3
N° 40	0.425	26.0
N° 50	0.300	22.2
N° 100	0.150	62.1
N° 200	0.075	53.0
< N° 200		294.5
PESOS INICIALES		
PESO TOTAL	: 498.0	gr
PESO FINO	: 495.7	gr

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°27: Recolección de datos de granulometría de suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	GRANULOMETRIA DE MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO	
MUESTRA	: Suelo arenoso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.
3"	75.000	
2 1/2"	63.500	
2"	50.800	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.500	
3/8"	9.500	
1/4"	6.350	
N° 4	4.750	81.0
N° 8	2.360	102.0
N° 10	2.000	19.0
N° 16	1.100	12.0
N° 20	0.840	54.0
N° 30	0.600	52.0
N° 40	0.425	110.0
N° 50	0.300	71.0
N° 100	0.150	127.0
N° 200	0.075	68.0
< N° 200		215.0
PESOS INICIALES		
PESO TOTAL	: 911.0	gr
PESO FINO	: 830.0	gr

Fuente: Elaboración propia



3.5.4. LÍMITE LÍQUIDO

3.5.4.1. EQUIPOS

- Recipiente para hacer el ensayo del límite líquido con herramienta para hacer la ranura
- Recipiente para contenido de humedad
- Placa de vidrio para hacer el límite plástico
- Equipo de preparación de la muestra de suelo (recipiente de porcelana, espátula, botellas plásticas para añadir cantidades controladas de agua)
- Balanza electrónica
- Juego de tamices


3.5.4.2. PROCEDIMIENTO

- Se debe pulverizar una cantidad suficiente de suelo secado al aire, para obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz #40 de alrededor de 250 gramos aproximadamente.
- Colocar los 250g de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando se encuentre en un punto de consistencia tal que se pueda estimar que tomará alrededor de 50 golpes para cerrar en una longitud de 12.7mm la ranura, remover alrededor de 20g de esta muestra adecuadamente mezclada del plato en el que se está trabajando para determinación posterior del límite plástico. A continuación se debe añadir un poco más de agua de manera que la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en el rango de 30 a 40.
- Remover la cazuela de bronce del aparato de límite líquido y colocar dentro de la cazuela una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, bien centrada en la cazuela con respecto al pasado. La mayor profundidad del suelo en la pasta deberá ser aproximadamente igual a la altura de la cabeza de la herramienta patrón de la

ASTM. Si se utiliza la herramienta de Casagrande, se debe mantener firmemente perpendicular a la tangente instantánea a la superficie de la cazuela y la herramienta, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea en toda su longitud.

3.5.4.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°28: Recolección de límite líquido para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITES DE CONSISTENCIA				
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO			
ENSAYO	: LÍMITES DE CONSISTENCIA			
MUESTRA	: Suelo arcilloso			
FECHA	: jueves, 04 de agosto de 2016			
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales			
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca			
LÍMITE LIQUIDO (ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110)				
N° TARRO	S/N	S/N	S/N	
TARRO + SUELO HUMEDO	67.02	65.41	67.04	
TARRO + SUELO SECO	61.18	59.39	61.72	
AGUA				
PESO DEL TARRO	43.04	40.08	43.92	
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				
N° DE GOLPES	16	23	32	

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. LÍMITE PLÁSTICO

3.5.5.1. EQUIPOS

- Placa de vidrio esmerilado: debe ser lo suficientemente grande para realizar sin problema los rollos de suelo.
- Espátula: debe ser de hoja flexible con una longitud que oscile entre 75-100 mm y un ancho de 20 mm.
- Capsula para Evaporación: preferiblemente de porcelana.




- Capsulas para determinar el contenido de humedad
- Balanza: debe trabajar con aproximación de 0,01 g
- Horno: debe trabajar y mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Calibrador : debe trabajar con aproximación de 0,1 cm

3.5.5.2. PROCEDIMIENTO

- Se selecciona una porción de aproximadamente 1,5 – 2,0 g, de la muestra previamente preparada.
- Se hace rodar la porción de muestra entra la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio esmerilado, aplicando una presión constante y no superior a la necesaria para formar rollos.
- Se debe formar un rollo de diámetro uniforme en la totalidad de la longitud, hasta que este alcance un diámetro de aproximadamente 3,2
- Si al alcanzar este diámetro el rollo no presenta agrietamiento y desmoronamiento, se tiene un material con humedad superior a su límite plástico. En tal caso se junta de nuevo todo el material formando una esfera, manipulándola con las manos, produciendo así su pérdida de humedad
- Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que una vez el material alcance el diámetro de 3,2 mm, se produzca un agrietamiento y desmoronamiento del mismo.
- Se colocan en un recipiente de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente

3.5.5.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°29: Recolección de datos de límite plástico para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITES DE CONSISTENCIA				
TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO				
ENSAYO : LÍMITES DE CONSISTENCIA				
MUESTRA : Suelo arcilloso				
FECHA : jueves, 04 de agosto de 2016				
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales				
RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca				
LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111)				
N° TARRO	S/N	S/N		
TARRO + SUELO HUM.	29.61	29.64		
TARRO + SUELO SECO	28.26	28.27		
AGUA				
PESO DEL TARRO	21.21	21.46		
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. PROCTOR MODIFICADO

3.5.6.1. EQUIPOS

- Molde cilíndrico de compactación normalmente de acero o aluminio, con una camisa superior del mismo material, la cual permite la compactación del material por encima del borde superior del molde para luego enrasar de manera óptima. El molde descansa sobre una base metálica, la cual posee también dos tornillos que permiten la conexión entre el molde y la camisa superior. Aunque existen dos tamaños de moldes, este manual se encarga del procedimiento efectuado con el molde cuyo diámetro es de aprox. 6 “ y una altura de aprox. 116.4 mm
- Martillo de compactación: martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.



- Regla metálica: debe ser de acero y lo suficientemente rígida y larga para realizar el enrasado sin ningún problema. Sus bordes no podrán estar golpeados ni presentar mordeduras.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,1 g, previamente calibradas y con capacidad mínima de 10.000 gramos.
- Tamiz $\frac{3}{4}$ ": la malla del tamiz debe estar en perfecto estado. El operario debe verificar que sus bordes no presenten desprendimiento con la pared del tamiz y que ninguno de sus hilos se encuentre fracturado.
- Herramientas menores y equipo necesario para determinar el contenido de humedad

3.5.6.2. PROCEDIMIENTO

- Se lleva a cabo el proceso de tamizado de la muestra obtenida en campo. Una vez este finaliza se tendrán por separado las fracción gruesa y la fracción de ensayo, cuyos pesos permitirán determinar sus porcentajes en la totalidad de la muestra extraída y verificar la condición inicial; que la muestra no presente un porcentaje retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " mayor al 30 %.
- Con la seguridad que la condición anterior se cumple se procede a seleccionar las muestras para los ensayos a realizar. Es necesario preparar por lo menos cuatro (4) submuestras, de manera tal que una vez se generen los puntos en la gráfica de compactación y su línea de tendencia, el pico de la curva sea efectivamente el que indique la mayor densidad seca. Estas muestras se colocaran en recipientes de aluminio lo suficientemente grandes para llevar a cabo el proceso de humedecimiento de la muestra.

FIGURA N°29 Mezcla del suelo con de agua para ensayo de Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia

- Se determina un valor cercano a la humedad óptima y los tres siguientes se distribuyen a criterio del laboratorista o la persona encargada. Dos por encima y uno por debajo o viceversa. Se realiza el cálculo para determinar cuál es la cantidad de agua que cumplirá con las humedades determinadas y con ayuda de una pipeta y con la mayor precisión posible se mide el fluido.
- Una vez medidas las cantidades de agua necesarias, se realiza la mezcla de tal manera que la totalidad de la muestra presente la misma humedad y consistencia.
- Con el peso del molde previamente tomado se procede a realizar la compactación del material dentro del mismo. El material se debe disponer en cinco (5) capas y a cada una de ellas se debe proporcionar cincuenta y seis (56) golpes en el orden como lo indica la imagen a continuación. Se debe asegurar que cada golpe alcance la altura máxima de caída y que la superficie de contacto con la cara del martillo sea total. También se debe cumplir que la última capa sobrepase el borde del molde en una altura no mayor a 6mm.
- Una vez se termine la compactación, la camisa superior es retirada y con ayuda de la espátula cuyas características cumplan las condiciones para el

procedimiento, se lleva a cabo el enrasado. En el momento de enrasar es usual que guijarros dispuestos en la superficie sean desprendidos y dejen pequeños vacíos en la misma, para tal caso se recomienda llenar dichos vacíos con suelo sobrante del tamizado.

- Una vez se ha enrasado el molde, este se retira de su placa base y se registra su peso.

FIGURA N°30: Registro del peso de muestra del ensayo de Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia

- El material es retirado del molde y para cada uno de los ensayos se toman muestras para determinar el contenido de humedad, el cual se lleva a cabo según el procedimiento establecido anteriormente.



3.5.6.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°30: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
---	--	---

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO
MUESTRA	: Suelo arcilloso
FECHA	: lunes, 08 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105		PESO DEL MOLDE (gr.) : 6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10494	10695	10860	10801
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	340.00	309.00	345.00	363.00
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	325.00	295.00	325.00	338.00
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: %	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°31: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
---	--	---

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural
FECHA	: martes, 09 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10492	10682	10848	10799
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	350.00	300.40	289.30	287.40
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	334.40	287.20	274.50	270.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	%	

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°32: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : martes, 09 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10489	10686	10839	10797
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	310.00	314.00	298.30	298.00
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	296.90	299.50	283.00	280.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°33: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

FECHA : miércoles, 10 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1		2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10478		10669	10825
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				10781
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	323.00	304.80	295.20	282.20
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	309.70	293.50	280.30	266.60
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	159.90	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°34: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

FECHA : miércoles, 10 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1		2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10545		10693	10792
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				10750
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	355.90	354.20	395.30	376.90
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	341.60	336.70	374.00	352.50
PESO DE LA TARA (gr.)	159.90	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°35: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
---	--	---

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: : EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso

FECHA : viernes, 05 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10747	10926	11122	11024
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	226.70	326.20	313.50	308.20
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	220.70	311.00	298.10	287.30
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°36: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

FECHA : viernes, 05 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1		2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10735		10912	11114
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				11020
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	262.30	368.90	357.20	245.60
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	253.90	350.50	337.20	232.50
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°37: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : sábado, 06 de agosto de 2016

LUGAR : Laboratorio SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1		2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10731		10907	11105
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				11016
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	301.60	345.90	287.50	306.10
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	290.60	329.10	274.30	285.60
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	%

Fuente: Elaboración propia



TABLA N°38: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

FECHA : sábado, 06 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10740	10901	11094	11014
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	241.50	284.30	300.50	247.10
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	234.50	272.40	286.10	233.90
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		%

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°39: Recolección de datos de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
---	--	---

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO
MUESTRA	: Suelo arenoso + 3% de polímero adhesivo natural
FECHA	: lunes, 08 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10740	10916	11119	11023
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)				
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	257.30	302.40	336.90	326.70
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	249.30	289.10	318.90	304.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)				
PESO DE SUELO SECO (gr.)				
HUMEDAD (%)				
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	%	

Fuente: Elaboración propia

3.5.7. ENSAYO CBR

3.5.7.1. EQUIPOS

- Máquina de compresión: instrumento de compresión capaz de aplicar fuerzas normales a una velocidad constante y con un dispositivo de medición de las mismas, cuya precisión varía dependiendo del tipo de material.
- Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por debajo de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 1kPa (0.01 kg/cm²).



- Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfiada se estime por encima de 100 kPa (1kg/cm²), la máquina de compresión debe medir los valores de esfuerzos con una precisión de 5kPa (0.05 kg/cm²).
- Molde cilíndrico de compactación: se usa el mismo molde del ensayo de compactación. Diámetro de 6", altura de 116.4 mm y material metálico. El molde viene acompañado de una camisa superior metálica, una placa de base perforada (mínimo 20 agujeros de diámetro 1,60 mm) con tornillos verticales para ensamblar todas las piezas y finalmente un disco espaciador metálico, de 150.8 mm de diámetro y un espesor de 61.50 mm, el cual estará ubicado dentro del molde en su parte inferior.
- Martillo de compactación: martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457.2 mm.
- Placa de metal perforada de aprox. 150 mm de diámetro, trípode que conecte sus patas con el borde del molde y sostenga un deformímetro con su vástago de contacto. - Sobrecargas metálicas: con un diámetro aprox. de 150 mm y peso de 2,27 kilogramos. Una de ellas anular con orificio central de 54 mm y las demás ranuradas.
- Deformímetro: debe ser un comparador de caratula, cuyos registros aporten una precisión de 0,0025 mm y una longitud de medición de mínimo 1,0 pulgadas.
- Cilindro de Penetración: el cilindro debe ser de material metálico, con una longitud mayor a 101,6 mm y un diámetro de 46,63 mm.
- Tamices: se debe contar con tamices No. 4 y 3/4". La condición de su malla debe estar en perfecto estado.
- Horno de secado: con capacidad para mantener temperaturas constantes de 110 ± 5°C.
- Recipientes de muestreo: los recipientes deben tener características especiales como son: su material preferiblemente aluminio, que soporte altas temperaturas y sea resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. Deben estar marcados con un código que facilite su identificación y en este caso útiles para determinar el contenido de humedad.

- Guantes contra altas temperaturas o herramientas para manejar los recipientes.
- Balanza de precisión: con precisión de 0,01 g, previamente calibradas.
- Herramientas menores: herramientas menores como son espátulas, trapos de limpieza, seguetas, entre otros.

3.5.7.2. PROCEDIMIENTO

- Tomar el peso del molde, el cual debe ser un dato para corroborar, pues cada molde debe tener en sus paredes exteriores los datos de su peso, altura y volumen.
- Se arma el equipo de compactación, es decir base, molde, camisa superior y ajuste de tornillos. Se debe asegurar que el terreno o superficie donde la base del molde quede apoyada, sea firme y no presente deformaciones ni pendientes.
- Se introduce el disco espaciador sobre la base perforada y sobre este un papel de filtro y de esta manera asegurando que el suelo no presente adherencia con el disco durante la compactación.

FIGURA N°31: Disolución del polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

- Se lleva a cabo la etapa de compactación, que para el caso serán cinco (5) capas.

FIGURA N°32: Mezcla del suelo con el polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

- A continuación se retira la camisa superior del molde y se enrasa la muestra, asegurando que los espacios que hayan quedado sean llenados con material mas fino que los orificios producidos en el enrase. Del material sobrante se debe apartar una muestra representativa con el fin de determinar el porcentaje de humedad.

FIGURA N°33: Enrasado de muestra para CBR



Fuente: Elaboración propia

- Con el fin de determinar el peso unitario del suelo, se retira el disco espaciador y se pesa el conjunto molde mas suelo compactado.
- Luego sobre la base se coloca un papel de filtro y el molde se coloca sobre este, pero esta vez invertido, de manera que el papel de filtro quede en contacto con la superficie enrasada.
- A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural.

SATURADA

- Lo primero que se debe hacer es determinar la presión o esfuerzo que producirá el suelo a esa profundidad, a causa de la estructura de pavimento que sobre este se vaya a construir. Una vez se tenga este dato, se debe determinar el número de sobrecargas metálicas que simularan este esfuerzo, teniendo en cuenta el área de contacto.

- Una vez se haya invertido el molde, se colocara sobre la muestra compactada, la placa perforada con el vástago y las sobrecargas previamente determinadas y cuyo valor se debe registrar. Tanto en el manual de Joseph Bowles como la Norma, recomiendan que la aproximación debe ser de 2,2 kg y nunca por debajo de 4,5 kg.
- Alistar un tanque cuya superficie inferior sea plana y estable y que se encuentre en un lugar donde no hayan vibraciones ni riesgos de producir oleaje o turbulencia dentro del mismo.

FIGURA N°34: Sumergido de los moldes de CBR



Fuente: Elaboración propia

- Sumergir el molde en el tanque con todo su conjunto y asegurarse que el nivel del agua sobrepase el extremo superior de la muestra. Se recomienda que la lámina de agua superior este 20 mm arriba del punto donde empieza la camisa superior.
- Se monta el trípode sobre el borde del molde, marcando con tiza o marcador los puntos exactos de contacto de las tres patas del trípode. Esto en caso de ser necesario retirarlo durante el ensayo y ponerlo nuevamente.
- Se ajusta el deformímetro de caratula y se registra la primera lectura, registrando también la hora y el día exacto.

FIGURA N°35: Lectura de expansión de las muestras



Fuente: Elaboración propia

- El ensayo puede tener una duración de 96 horas, pero se puede dar por terminado cuando se registren valores cero de expansión por un periodo mayor a 24 horas. Por lo anterior se deduce que en ningún momento se puede dar por terminada la inmersión por un periodo inferior a 24 horas. Se recomienda hacer lecturas en los siguientes intervalos de tiempo:

TABLA N°40: Hora de lectura de expansión para el ensayo de CBR

Horas	0	24	36	48	72	96
Lectura #	1	2	3	4	5	6

Fuente: Elaboración propia

- Luego de retirar la muestra de la inmersión, se debe sacar y dejar drenar por un lapso de 15 minutos y secar sus superficies expuestas. Luego de esto se debe registrar el peso muestra saturada mas molde.
- Llevar el conjunto (con sobrecargas incluidas) a la máquina de compresión y con una presión no mayor a 4,5 kg presionar el pistón de penetración sobre la muestra.
- Tanto el deformímetro de carga como el deformímetro de penetración se deben llevar a cero luego de realizar el paso anterior.
- A partir de este momento se lleva a cabo la compresión con una velocidad de penetración de 1,27 mm por minuto.

- La penetración se debe llevar hasta una profundidad de penetración de 0,5 “ y los rangos de registros que se tomen pueden ser definidos por el ingeniero encargado. Se recomienda que sean rangos no mayores a 0,025 “. Entre más registros se tomen, la curva será mucho mejor definida.

FIGURA N°36: Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia


FIGURA N°37: Muestras de suelo de estrato arcilloso después del ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

3.5.7.3. TOMA DE DATOS

TABLA N°41: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO												
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA												
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL												
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)												
TESIS:		EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO										
ENSAYO		RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)										
MUESTRA		Suelo arcilloso										
FECHA		martes, 16 de agosto de 2016										
LUGAR		SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales										
RESPONSABLES		: Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca										
COMPACTACIÓN												
Molde N°	1			2			3					
N° Capa	5			5			5					
Golpes por capa N°	56			25			12					
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO		
Peso molde + Suelo húmedo	12241	12256	11789	11799	11363	11456						
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191						
Peso del suelo húmedo (gr)												
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105						
Densidad húmeda (gr/cc)												
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	375.6	274.5	335.7	274.1	299.8	303.9						
Tarro + Suelo seco (gr.)	353.7	260.2	319.6	261.8	287.1	284.5						
Peso del Agua (gr.)												
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2						
Peso del suelo seco (gr.)												
% de humedad												
Densidad seca (gr/cc)												
EXPANSION												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		
				mm	%		mm	%		mm	%	
16/08/16	17:00	0	0.00			0.00			0.00			
17/08/16	17:00	24	2.00			4.00			6.00			
18/08/16	17:00	48	4.00			9.00			11.00			
19/08/16	17:00	72	7.00			12.00			15.00			
20/08/16	17:00	96	9.00			17.00			26.00			
PENETRACIÓN												
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°				
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.			
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2		
0.000		0			0			0				
0.025		5			4			3				
0.050		10			6			4				
0.075		13			8			6				
0.100	70.3	17			10			8				
0.150		20			13			11				
0.200	105.5	23			18			14				
0.250		26			20			17				
0.300		32			23			20				
0.400		37			27			23				
0.500		45			31			25				

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°42: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA											
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)											
TESIS:		EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO									
ENSAYO		: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)									
MUESTRA		: Suelo arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural									
FECHA		: lunes, 22 de agosto de 2016									
LUGAR		: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales									
RESPONSABLES		: Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca									
COMPACTACIÓN											
Molde N°	1			2			3				
N° Capa	5			5			5				
Golpes por capa N°	56			25			12				
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO			
Peso molde + Suelo húmedo	12240	12255	11792	11809	11355	11430					
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191					
Peso del suelo húmedo (gr)											
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105					
Densidad húmeda (gr/cc)											
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	267.9	287.3	304.7	315.6	335.5	316.8					
Tarro + Suelo seco (gr.)	255.7	271.8	291.2	298.7	319.6	295.9					
Peso del Agua (gr.)											
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2					
Peso del suelo seco (gr.)											
% de humedad											
Densidad seca (gr/cc)											
EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/08/16	12:22	0	0.00			0.00			0.00		
23/08/16	12:22	24	3.00			5.00			6.00		
24/08/16	12:22	48	7.00			10.00			12.00		
25/08/16	12:22	72	11.00			16.00			21.00		
26/08/16	12:22	96	20.00			32.00			39.00		
PENETRACIÓN											
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°			
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	
0.000		0			0			0			
0.025		6			4			2			
0.050		9			6			4			
0.075		12			9			6			
0.100	70.3	17			11			10			
0.150		22			15			13			
0.200	105.5	25			19			15			
0.250		29			24			18			
0.300		33			27			21			
0.400		41			31			24			
0.500		52			35			26			

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°43: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MUESTRA: Suelo arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA: lunes, 22 de agosto de 2016

LUGAR: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES: Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca


COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12236	12263	11776	11789	11357	11430
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)						
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)						
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	225.2	302.0	268.5	201.7	272.2	289.9
Tarro + Suelo seco (gr.)	216.9	284.8	258.7	197.2	261.8	272.2
Peso del Agua (gr.)						
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	81.70	149.60	98.80	37.30	101.90	137.00
% de humedad						
Densidad seca (gr/cc)						

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/08/16	18:00	0	0.00			0.00			0.00		
23/08/16	18:00	24	5.00			6.00			7.00		
24/08/16	18:00	48	9.00			12.00			14.00		
25/08/16	18:00	72	16.00			21.00			26.00		
26/08/16	18:00	96	31.00			45.00			52.00		

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
	STAND.	CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0			0			0		
0.025		7			4			3		
0.050		10			7			5		
0.075		14			10			7		
0.100	70.3	19			12			9		
0.150		23			14			13		
0.200	105.5	26			20			15		
0.250		31			23			18		
0.300		35			26			22		
0.400		44			33			25		
0.500		59			37			29		


Fuente: Elaboración propia

TABLA N°44: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)											
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO - CUSCO										
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)										
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural										
FECHA	: jueves, 01 de septiembre de 2016										
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales										
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	1		2		3						
N° Capa	5		5		5						
Golpes por capa N°	56		25		12						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO					
Peso molde + Suelo húmedo	12232	12248	11773	11782	11350	11423					
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191					
Peso del suelo húmedo (gr)											
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105					
Densidad húmeda (gr/cc)											
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N					
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	225.2	312.5	291.2	201.7	272.2	289.9					
Tarro + Suelo seco (gr.)	217.1	293.8	279.4	197.1	261.8	272.0					
Peso del Agua (gr.)											
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2					
Peso del suelo seco (gr.)											
% de humedad											
Densidad seca (gr/cc)											
EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
01/09/16	17:30	0	0.00			0.00			0.00		
02/09/16	17:30	24	6.00			7.00			8.00		
03/09/16	17:30	48	11.00			14.00			18.00		
04/09/16	17:30	72	23.00			28.00			35.00		
05/09/16	17:30	96	36.00			48.00			57.00		
PENETRACIÓN											
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°			
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	
0.000		0			0			0			
0.025		5			4			3			
0.050		10			7			6			
0.075		16			11			8			
0.100	70.3	20			15			11			
0.150		26			21			14			
0.200	105.5	32			26			16			
0.250		37			31			18			
0.300		44			34			24			
0.400		52			39			29			
0.500		62			44			33			


Fuente: Elaboración propia

TABLA N°45: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)											
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO										
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)										
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural										
FECHA	: martes, 06 de septiembre de 2016										
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales										
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	1		2		3						
N° Capa	5		5		5						
Golpes por capa N°	56		25		12						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO					
Peso molde + Suelo húmedo	12186	12229	11776	11789	11340	11427					
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191					
Peso del suelo húmedo (gr)											
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105					
Densidad húmeda (gr/cc)											
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N					
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	224.1	205.2	266.6	192.2	263.2	193.7					
Tarro + Suelo seco (gr.)	216.3	198.1	257.0	188.8	254.0	187.2					
Peso del Agua (gr.)											
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2					
Peso del suelo seco (gr.)											
% de humedad											
Densidad seca (gr/cc)											
EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
06/09/16	13:00	0	0.00			0.00			0.00		
07/09/16	13:00	24	6.00			8.00			11.00		
08/09/16	13:00	48	18.00			21.00			30.00		
09/09/16	13:00	72	29.00			35.00			41.00		
10/09/16	13:00	96	50.00			56.00			64.00		
PENETRACIÓN											
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°			
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	
0.000		0			0			0			
0.025		5			3			2			
0.050		8			6			4			
0.075		11			8			6			
0.100	70.3	13			11			9			
0.150		18			14			12			
0.200	105.5	23			18			15			
0.250		28			23			17			
0.300		31			26			22			
0.400		36			30			27			
0.500		43			37			31			


Fuente: Elaboración propia

TABLA N°46: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								 UAC			
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)											
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO										
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)										
MUESTRA	: Suelo arenoso										
FECHA	: lunes, 15 de agosto de 2016										
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales										
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	1			2			3				
N° Capa	5			5			5				
Golpes por capa N°	56			25			12				
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO		
Peso molde + Suelo húmedo	12523	12552	12115	12136	11645	11698					
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191					
Peso del suelo húmedo (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2139	2139	2139	2139	2105	2105					
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N					
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	223.5	250.1	226.9	260.4	230.3	295.4					
Tarro + Suelo seco (gr.)	214.7	237.3	217.8	246.1	220.8	276.3					
Peso del Agua (gr.)											
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2					
Peso del suelo seco (gr.)											
% de humedad											
Densidad seca (gr/cm ³)											
EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/08/16	12:30	0	0.00			0.00			0.00		
16/08/16	12:30	24	0.00			0.00			1.00		
17/08/16	12:30	48	0.50			1.00			2.00		
18/08/16	12:30	72	1.00			2.00			4.00		
19/08/16	12:30	96	2.00			4.00			6.00		
PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°			
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		
pulg	kg/cm ²	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	
0.000		0			0			0			
0.025		3			2			1			
0.050		4			3			2			
0.075		5			4			3			
0.100	70.3	7			6			5			
0.150		9			7			6			
0.200	105.5	12			9			8			
0.250		15			12			10			
0.300		31			28			25			
0.400		40			37			34			
0.500		57			49			43			

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°47: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	
MUESTRA	: Suelo arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural	
FECHA	: sábado, 20 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocio Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	


COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12522	12541	12104	12125	11631	11643
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)						
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)						
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	278.9	345.8	239.4	291.2	284.3	245.7
Tarro + Suelo seco (gr.)	264.4	322.8	228.9	273.3	269.3	232.5
Peso del Agua (gr.)						
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)						
% de humedad						
Densidad seca (gr/cc)						

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/08/16	18:30	0	0.00			0.00			0.00		
21/08/16	18:30	24	1.00			2.00			3.00		
22/08/16	18:30	48	2.00			3.00			5.00		
23/08/16	18:30	72	3.00			5.00			8.00		
24/08/16	18:30	96	5.00			7.00			11.00		

PENETRACIÓN									
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°	
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2
0.000		0			0			0	
0.025		7			4			3	
0.050		20			13			8	
0.075		38			26			14	
0.100	70.3	46			32			24	
0.150		61			44			37	
0.200	105.5	87			65			46	
0.250		127			96			55	
0.300		169			135			90	
0.400		208			164			120	
0.500		231			191			156	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°48: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EV ALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arenoso + 1% de polímero adhesivo natural
FECHA	: jueves, 25 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

COMPACTACIÓN

Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12205	12214	12322	12337	11610	11632
Peso de molde (gr)	7423	7423	7707	7707	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)						
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)						
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	293.5	270.9	245.7	245.2	330.3	295.6
Tarro + Suelo seco (gr.)	277.9	259.6	234.9	236.0	311.2	277.2
Peso del Agua (gr.)						
Peso del tarro (gr.)	135.2	159.9	135.2	159.9	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)						
% de humedad						
Densidad seca (gr/cc)						

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/08/16	14:00	0	0.00			0.00			0.00		
26/08/16	14:00	24	4.00			5.00			6.00		
27/08/16	14:00	48	5.00			7.00			8.00		
28/08/16	14:00	72	6.00			9.00			12.00		
29/08/16	14:00	96	7.00			10.00			15.00		

PENETRACIÓN

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
	STAND.	CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0			0			0		
0.025		10			7			5		
0.050		31			27			16		
0.075		57			40			28		
0.100	70.3	77			56			45		
0.150		95			81			67		
0.200	105.5	136			114			88		
0.250		175			142			105		
0.300		224			187			163		
0.400		283			238			203		
0.500		342			276			245		

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°49: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EV ALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arenoso + 2% de polímero adhesivo natural
FECHA	: martes, 30 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca


COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12482	12491	12097	12109	11635	11657
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)						
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)						
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	265.4	312.1	289.5	228.2	249.3	295.4
Tarro + Suelo seco (gr.)	252.6	294.2	274.3	218.2	238.1	277.2
Peso del Agua (gr.)						
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)						
% de humedad						
Densidad seca (gr/cc)						

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
30/08/16	17:00	0	0.00			0.00			0.00		
31/08/16	17:00	24	2.00			3.00			4.00		
01/09/16	17:00	48	4.00			6.00			7.00		
02/09/16	17:00	72	6.00			11.00			18.00		
03/09/16	17:00	96	9.00			17.00			25.00		

PENETRACIÓN									
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°	
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2
0.000		0			0			0	
0.025		14			10			6	
0.050		38			28			21	
0.075		59			42			35	
0.100	70.3	76			63			48	
0.150		125			97			78	
0.200	105.5	180			143			120	
0.250		217			184			169	
0.300		284			228			202	
0.400		358			293			276	
0.500		423			370			312	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°50: Recolección de datos de CBR para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	
MUESTRA	: Suelo arenoso + 3% de polímero adhesivo natural	
FECHA	: domingo, 04 de septiembre de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	11916	11923	12041	12067	12180	12198
Peso de molde (gr)	7191	7191	7423	7423	7707	7707
Peso del suelo húmedo (gr)						
Volumen del molde (cc)	2105	2105	2139	2139	2139	2139
Densidad húmeda (gr/cc)						
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	223.1	242.7	244.5	257.6	302.3	287.5
Tarro + Suelo seco (gr.)	214.5	234.4	233.7	247.1	285.9	270.1
Peso del Agua (gr.)						
Peso del tarro (gr.)	135.2	159.9	135.2	159.9	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)						
% de humedad						
Densidad seca (gr/cc)						

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
04/09/16	18:00	0	0.00			0.00			0.00		
05/09/16	18:00	24	4.00			5.00			6.00		
06/09/16	18:00	48	8.00			11.00			15.00		
07/09/16	18:00	72	14.00			25.00			27.00		
08/09/16	18:00	96	20.00			32.00			43.00		

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0			0			0		
0.025		5			3			2		
0.050		13			9			7		
0.075		26			16			12		
0.100	70.3	29			20			17		
0.150		40			34			20		
0.200	105.5	57			43			31		
0.250		74			55			42		
0.300		82			64			55		
0.400		107			91			71		
0.500		132			106			85		

Fuente: Elaboración propia



3.6. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD

3.6.1.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULO

- Peso de agua: se obtiene de la diferencia del suelo húmedo y el suelo seco.
- Contenido de Humedad de cada una de las muestras tomadas.

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

Donde:

W= Contenido de Humedad

Ww: Peso de agua presente en la masa de suelo

Ws: Peso seco de los solidos


$$W\% = \frac{32}{380.80} * 100$$

$$W\% = 8.40\%$$

- Finalmente se obtiene el promedio de los porcentajes de humedad.

3.6.1.2. TABLA


TABLA N°51: Contenido de humedad para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: HUMEDAD NATURAL	
MUESTRA	: Suelo arcilloso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	

HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E108-2000)		
N° TARRO	-	-
SUELO HUMEDO	548.00	498.40
SUELO SECO	516.00	471.00
AGUA	32.00	27.40
PESO DEL TARRO	135.20	135.20
PESO DEL SUELO SECO	380.80	335.80
% DE HUMEDAD	8.40	8.16
HUMEDAD PROM. (%)	8.28	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°52: Contenido de humedad para suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: HUMEDAD NATURAL	
MUESTRA	: Suelo arenoso	
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABL	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca	

HUMEDAD (ASTM D-2216 / MTC E108-2000)		
N° TARRO	-	-
SUELO HUMEDO	458.00	516.00
SUELO SECO	440.00	494.00
AGUA	18.00	22.00
PESO DEL TARRO	135.20	135.20
PESO DEL SUELO SECO	304.80	358.80
% DE HUMEDAD	5.91	6.13
HUMEDAD PROM. (%)	6.02	

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

La humedad promedio del suelo del estrato arcilloso es 8.28.

La humedad promedio del suelo del estrato arenoso es 6.02.

El suelo arcilloso tiene mayor humedad en comparación al suelo del estrato arenoso.



3.6.2. GRANULOMETRÍA

3.6.2.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{M_r}{M_T} * 100$$

Donde:

Mr: Masa retenida en el tamiz

MT: Masa total

$$\% \text{ Retenido} = \frac{495.7}{498.0} * 100$$
$$\% \text{ Retenido} = 99.5$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

% Retenido Acomulado = Suma de porcentajes mayores o iguales

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = 0.5 + 2.0$$

(Se han redondeado valores anteriores a estos)

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = 2.4$$

- Porcentaje que Pasa:

% que Pasa = 100 - % retenido acumulado

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 0.5$$

$$\% \text{ que Pasa} = 99.5$$

- Graficar la curva granulométrica que sirve para determinar las aberturas por las que pasa el 10, 30 y 60% de suelo.
 - Diámetro eficaz (D10): Abertura del tamiz por la que pasa el 10% de partículas del suelo. Juega un importante papel en el valor de la conductividad hidráulica del suelo.



- Diámetro eficaz (D_{30}): Abertura del tamiz por la que pasa el 30% de partículas del suelo.
- Diámetro eficaz (D_{60}): Abertura del tamiz por la que pasa el 60% de partículas del suelo..
- Coeficiente de uniformidad: Determina la uniformidad del suelo. Un suelo con $C_u \leq 2$ se considera uniforme, mientras que un valor de $C_u \geq 10$ indica que se trata de un suelo de una granulometría muy diversa. Siendo D_{60} la luz del tamiz por la que pasa el 60% de partículas del suelo.


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

- Coeficiente de concavidad: Proporciona información sobre si el suelo está bien o mal graduado. Un suelo bien graduado tiene proporciones equilibradas de arena, limo y arcilla. Si hay tamaños de partícula no presentes estará mal graduado. Un valor cercano a uno indica que el suelo está bien graduado, mientras que valores mucho menores o muchos mayores indican suelos con una granulometría muy diversa. En general los suelos bien graduados se compactan mejor y pueden adquirir permeabilidad y deformabilidad más bajas. Siendo D_{30} la luz del tamiz por la que pasa el 30% de partículas del suelo.

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

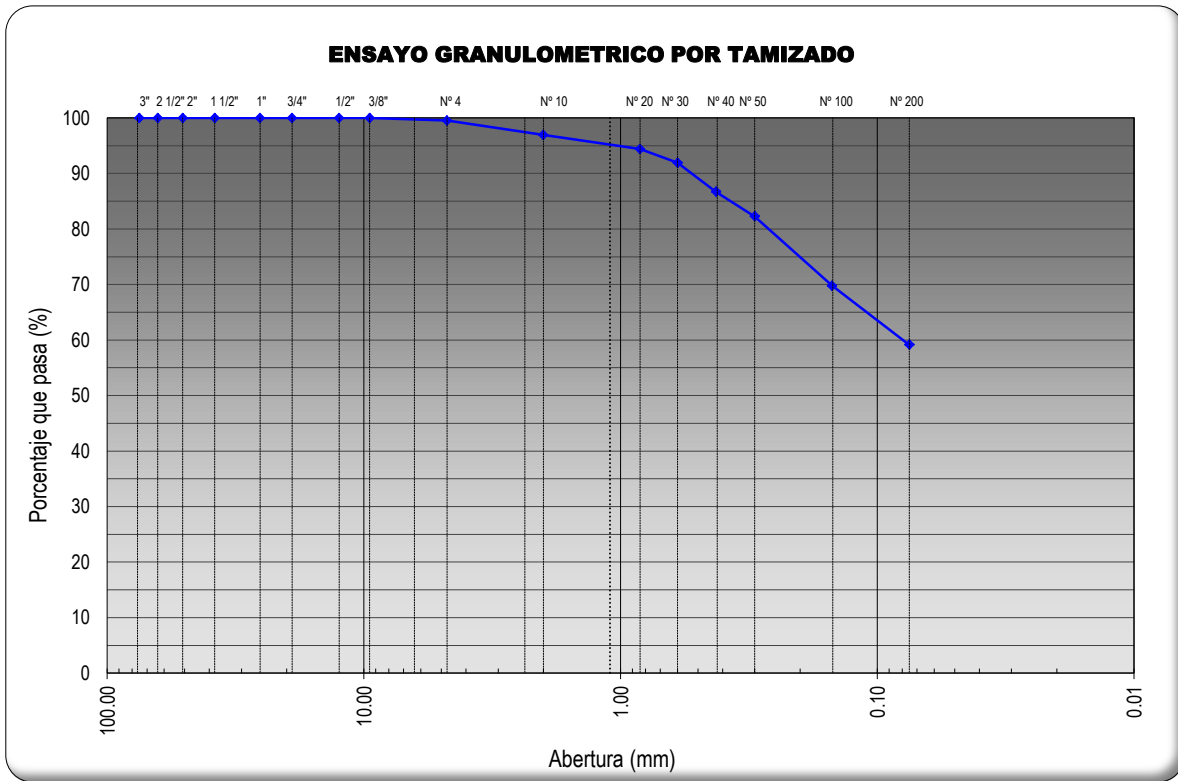
3.6.2.2. DIAGRAMAS Y TABLAS

TABLA N°53: Granulometría para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)							
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO						
ENSAYO	: GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO						
MUESTRA	: Suelo arcilloso						
FECHA	: martes, 02 de agosto de 2016						
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales						
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca						
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% PASA	ESPEC.	CARACT. FÍSICAS - MECÁNICAS
3"	75.000						LIMITE LIQUIDO : 30.9 %
2 1/2"	63.500						LIMITE PLASTICO : 19.6 %
2"	50.800						INDICE PLASTICO : 11.2 %
1 1/2"	38.100						HUM. NATURAL : 0.0 %
1"	25.400						CLASF. AASHTO : A-6(4)
3/4"	19.050						CLASF. SUCS : CL
1/2"	12.500						M.D.S. : 1.927 gr/cm ³
3/8"	9.500						O.C.H. : 10.20 %
1/4"	6.350						CBR AL 100% M.D.S. : 5.1 %
N° 4	4.750	2.3	0.5	0.5	99.5		CBR AL 95% M.D.S. : 3.0 %
N° 8	2.360	9.7	2.0	2.4	97.6		
N° 10	2.000	3.3	0.7	3.1	96.9		
N° 16	1.100	5.1	1.0	4.1	95.9		
N° 20	0.840	7.5	1.5	5.6	94.4		
N° 30	0.600	12.3	2.5	8.1	91.9		
N° 40	0.425	26.0	5.2	13.3	86.7		
N° 50	0.300	22.2	4.5	17.8	82.3		
N° 100	0.150	62.1	12.5	30.2	69.8		
N° 200	0.075	53.0	10.6	40.9	59.1		
< N° 200		294.5	59.1	100.0	0.0		
							PESOS INICIALES
							PESO TOTAL : 498.0 gr
							PESO FINO : 495.7 gr


Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°38: Curva granulométrica para suelo de estrato arcilloso



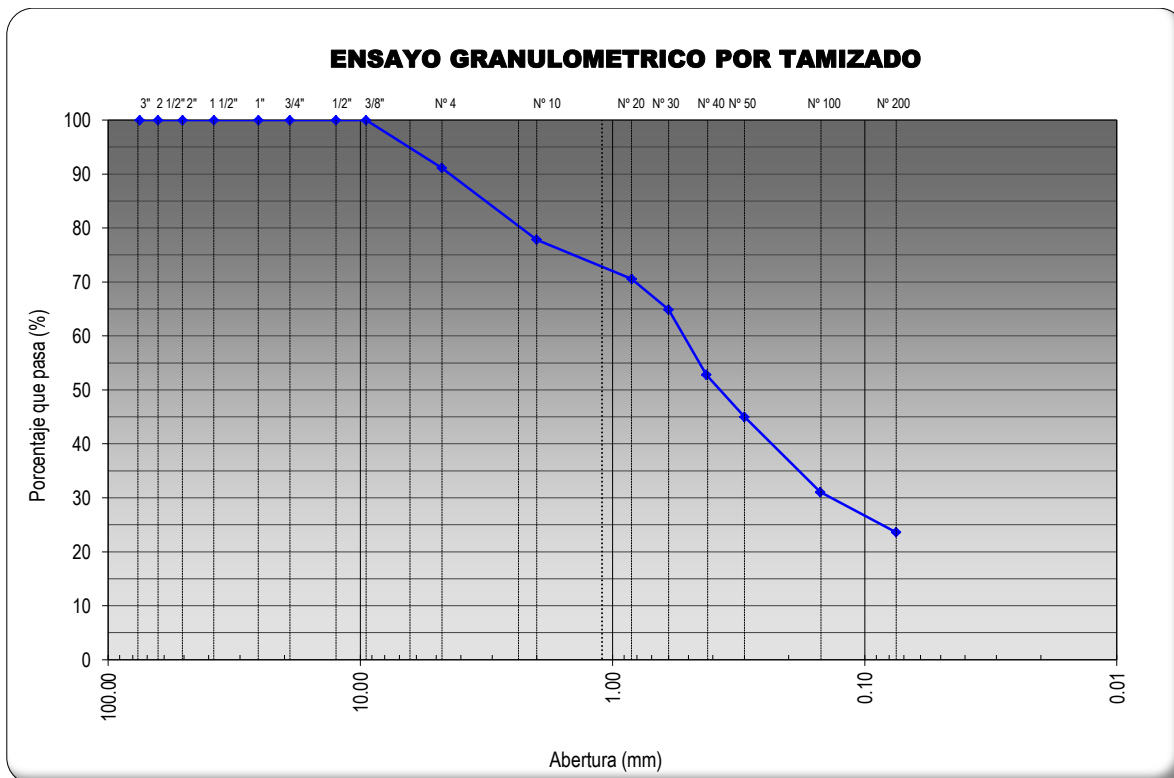
Fuente: Elaboración propia

TABLA N°54: Granulometría para suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA							
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
GRANULOMETRIA (ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)							
TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO							
ENSAYO : GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE SUELO ARENOSO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO							
MUESTRA : Suelo arenoso							
FECHA : martes, 02 de agosto de 2016							
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales							
RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero Cynthia Sañac Vilca							
TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% PASA	ESPEC.	CARACT. FÍSICAS - MECÁNICAS
3"	75.000						LIMITE LIQUIDO : N.P. %
2 1/2"	63.500						LIMITE PLASTICO : N.P. %
2"	50.800						INDICE PLASTICO : N.P. %
1 1/2"	38.100						HUM. NATURAL : 0.0 %
1"	25.400						CLASF. AASHTO : A-2-5(0)
3/4"	19.050						CLASF. SUCS : SM
1/2"	12.500						M.D.S. : 2.027 gr/cm3
3/8"	9.500						O.C.H. : 11.00 %
1/4"	6.350						CBR AL 100% M.D.S. : 1.8 %
N° 4	4.750	81.0	8.9	8.9	91.1		CBR AL 95% M.D.S. : 1.0 %
N° 8	2.360	102.0	11.2	20.1	79.9		
N° 10	2.000	19.0	2.1	22.2	77.8		
N° 16	1.100	12.0	1.3	23.5	76.5		
N° 20	0.840	54.0	5.9	29.4	70.6		
N° 30	0.600	52.0	5.7	35.1	64.9		
N° 40	0.425	110.0	12.1	47.2	52.8		
N° 50	0.300	71.0	7.8	55.0	45.0		
N° 100	0.150	127.0	13.9	68.9	31.1		
N° 200	0.075	68.0	7.5	76.4	23.6		
< N° 200		215.0	23.6	100.0	0.0		
							PESOS INICIALES
							PESO TOTAL : 911.0 gr
							PESO FINO : 830.0 gr

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°39: Curva granulométrica para suelo de estrato arenoso



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

El suelo de estrato arcilloso según su granulometría es:

- Clasificación AASHTO: A-6 (4)
- Clasificación SUCS: CL

Por lo cual se deduce que es un suelo arcilloso.

El suelo de estrato arcilloso según su granulometría es:

- Clasificación AASHTO: A-2-5 (0)
- Clasificación SUCS: SM

Por lo cual se deduce que es una arena limosa.

Al obtener dos tipos de suelos, se estudió la adición de polímero adhesivo natural en ambos para conocer los valores de densidad máxima y capacidad de soporte, compararlos e identificar en cual el aditivo se alcanza mayores resultados.

3.6.3. LÍMITE LÍQUIDO

3.6.3.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

- Contenido de Humedad de cada una de las muestras tomadas

$$w(\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

Donde:

w: Contenido de Humedad

Ww: Peso de agua presente en la masa de suelo


Ws: Peso seco de los solidos

$$W(\%) = \frac{5.84}{18.14} * 100$$

$$W(\%) = 32.19$$

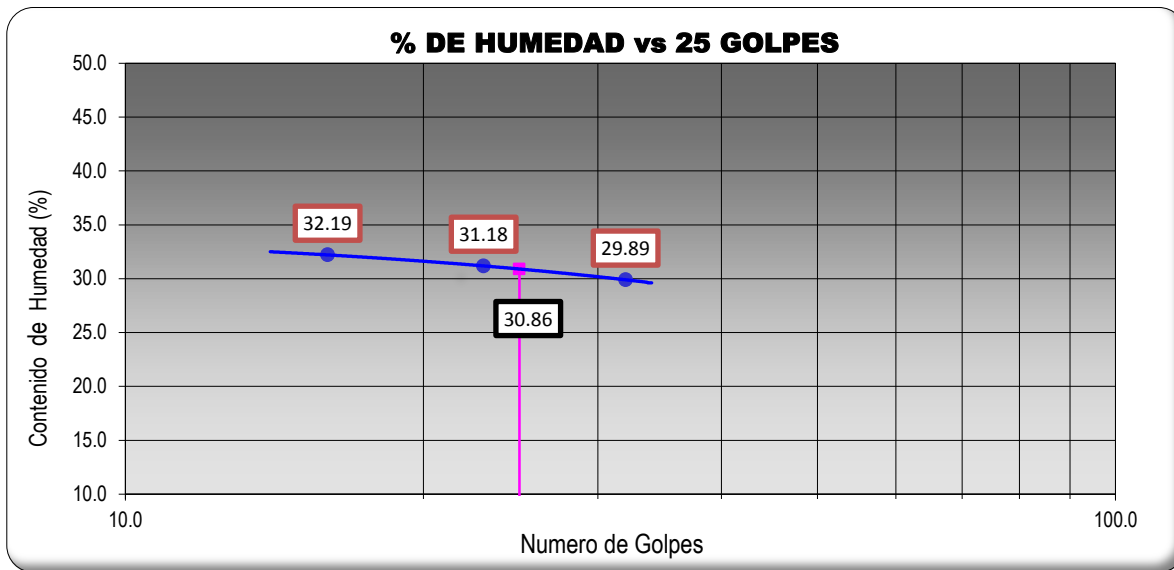
DIAGRAMAS Y TABLAS

TABLA N°55: Límite Líquido para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITES DE CONSISTENCIA				
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO A DICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO			
ENSAYO	: LÍMITES DE CONSISTENCIA			
MUESTRA	: Suelo arcilloso			
FECHA	: jueves, 04 de agosto de 2016			
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales			
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca			
LÍMITE LIQUIDO (ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110)				
N° TARRO	S/N	S/N	S/N	
TARRO + SUELO HUMEDO	67.02	65.41	67.04	
TARRO + SUELO SECO	61.18	59.39	61.72	
AGUA	5.84	6.02	5.32	
PESO DEL TARRO	43.04	40.08	43.92	
PESO DEL SUELO SECO	18.14	19.31	17.80	
% DE HUMEDAD	32.19	31.18	29.89	
N° DE GOLPES	16	23	32	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°40: Curva de Fluidez.
Contenido de Humedad vs Número de Golpes



Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

El límite líquido del suelo arcilloso es: 30.9%.

El suelo de estrato arenoso no presenta límite líquido por ser una arena limosa.

3.6.4. LÍMITE PLÁSTICO

3.6.4.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

- Contenido de Humedad de cada una de las muestras tomadas.

$$w(\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

Donde:

W= Contenido de Humedad

Ww: Peso de agua presente en la masa de suelo

Ws: Peso seco de los solidos

$$W(\%) = \frac{1.35}{7.05} * 100$$

$$W(\%) = 19.15$$



LÍMITE PLÁSTICO

$$LP = \frac{W1 + W2 + \dots + Wn}{n}$$

Donde:

LP= Limite Plástico

W: Humedad Natural

n: Número de puntos de humedad tomados

$$LP = \frac{19.15 + 20.12}{2}$$

$$LP = 19.63$$

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= Índice de Plasticidad

LL= Limite Liquido


LP= Límite Plástico

$$IP = 30.9 - 19.6$$

$$IP = 11.22$$

3.6.4.2. DIAGRAMAS Y TABLAS

TABLA N°56: Límite Plástico para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITES DE CONSISTENCIA				
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO			
ENSAYO	: LÍMITES DE CONSISTENCIA			
MUESTRA	: Suelo arcilloso			
FECHA	: jueves, 04 de agosto de 2016			
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales			
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca			
LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111)				
N° TARRO	S/N	S/N		
TARRO + SUELO HUM.	29.61	29.64		
TARRO + SUELO SECO	28.26	28.27		
AGUA	1.35	1.37		
PESO DEL TARRO	21.21	21.46		
PESO DEL SUELO SECO	7.05	6.81		
% DE HUMEDAD	19.15	20.12		

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°57: Resultados límites de consistencia

LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA		
LIM. LIQUIDO (%)	:	30.9
LIM. PLÁSTICO (%)	:	19.6
IND. PLÁSTICO (%)	:	11.2

Fuente: Elaboración propia

3.6.4.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

El límite plástico del suelo arcilloso es: 19.6%.

El suelo de estrato arenoso no presenta límite plástico por ser una arena limosa.



3.6.5. PROCTOR MODIFICADO

3.6.5.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

PORCENTAJE DE HUMEDAD:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

Donde:

W_r : Masa del recipiente

W_h : Masa de Recipiente + Suelo Húmedo

W_s : Masa de Recipiente + Suelo Seco

$$W(\%) = \frac{15}{189.80} * 100$$

$$W(\%) = 7.90$$

DENSIDAD HÚMEDA:

$$\rho_{hum} = \frac{W_{hum}}{V}$$

Donde:

ρ_{hum} : Densidad Húmeda

W_{hum} : Peso de la muestra húmeda

V : Volumen del molde

$$\rho_{hum} = \frac{4115}{2105} \text{ gr/cc}$$

$$\rho_{hum} = 1.955 \text{ gr/cc}$$

DENSIDAD SECA:

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_s : Densidad Seca


w: porcentaje de humedad

$$\rho_s = \frac{1.955}{1 + 7.9} \text{ gr/cc}$$

$$\rho_s = 1.812 \text{ gr/cc}$$

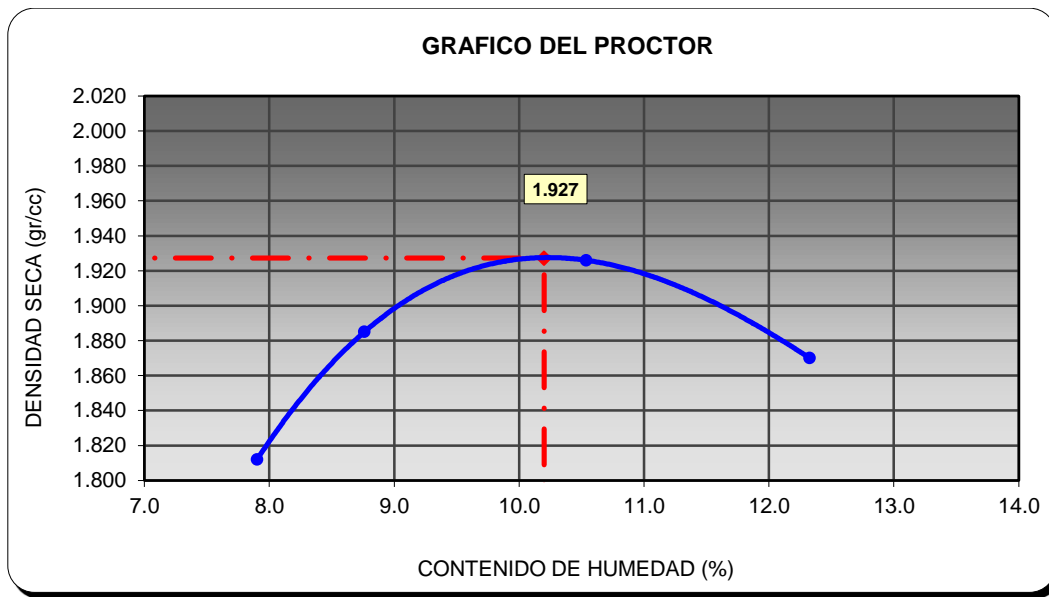
3.6.5.2. DIAGRAMAS Y TABLAS

TABLA N°58: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)					
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO				
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO				
MUESTRA	: Suelo arcilloso				
FECHA	: lunes, 08 de agosto de 2016				
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales				
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca				
DENSIDAD HUMEDA					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10494	10695	10860	10801	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4115	4316	4481	4422	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	1.955	2.050	2.129	2.101	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	340.00	309.00	345.00	363.00	
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	325.00	295.00	325.00	338.00	
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20	
PESO DE AGUA (gr.)	15.00	14.00	20.00	25.00	
PESO DE SUELO SECO (gr.)	189.80	159.80	189.80	202.80	
HUMEDAD (%)	7.90	8.76	10.54	12.33	
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.812	1.885	1.926	1.870	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.927 gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 10.20 %		

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°41: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°59: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

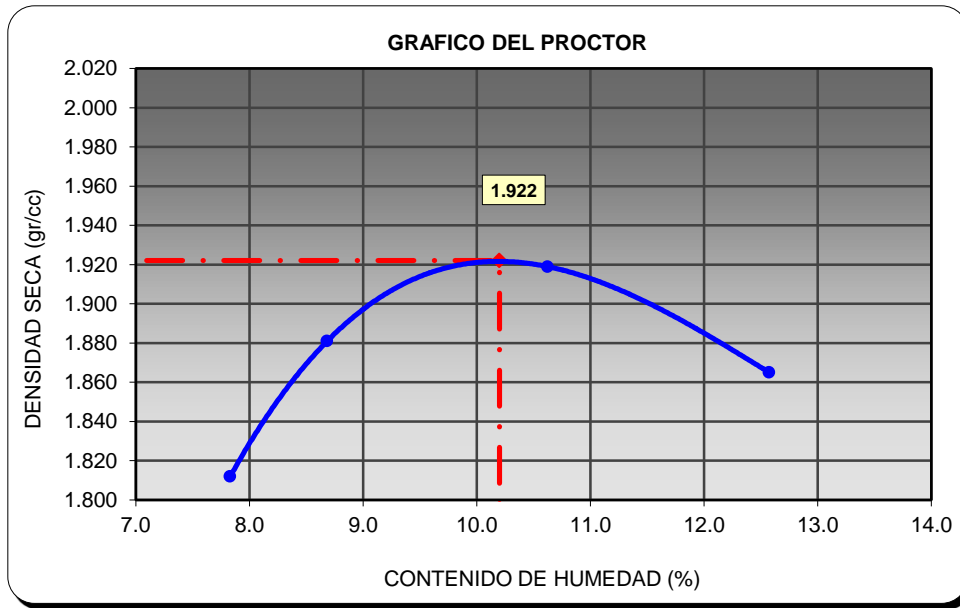
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural
FECHA	: martes, 09 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10492	10682	10848	10799
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4113	4303	4469	4420
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	1.954	2.044	2.123	2.100
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	350.00	300.40	289.30	287.40
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	334.40	287.20	274.50	270.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	15.60	13.20	14.80	17.00
PESO DE SUELO SECO (gr.)	199.20	152.00	139.30	135.20
HUMEDAD (%)	7.83	8.68	10.62	12.57
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.812	1.881	1.919	1.865
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.922 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA: 10.20 %		

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°42: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

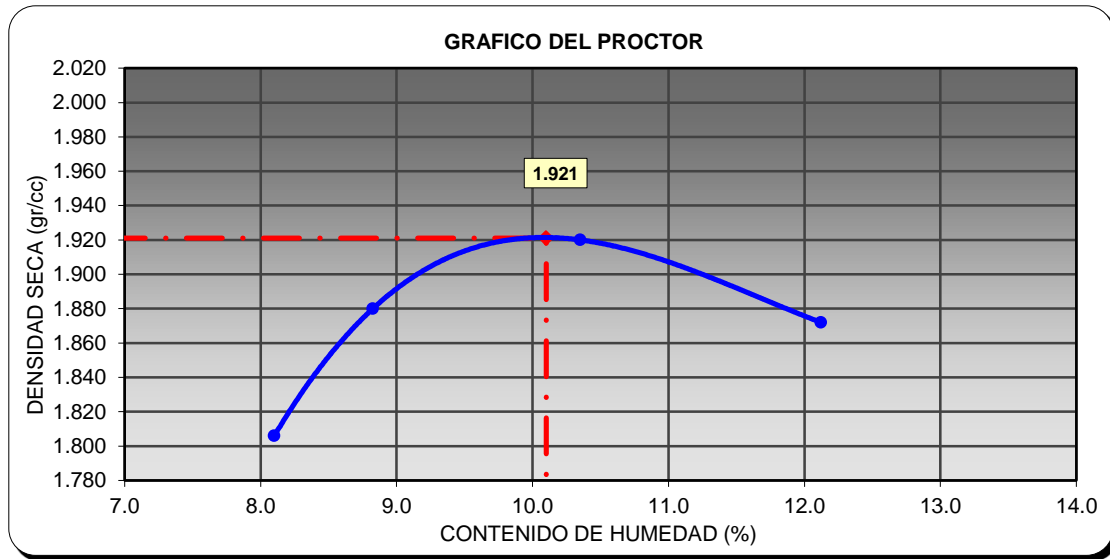
TABLA N°60: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO	
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural	
FECHA	: martes, 09 de agosto de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10489	10686	10839	10797
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4110	4307	4460	4418
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	1.952	2.046	2.119	2.099
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPiente Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	310.00	314.00	298.30	298.00
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	296.90	299.50	283.00	280.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	13.10	14.50	15.30	17.60
PESO DE SUELO SECO (gr.)	161.70	164.30	147.80	145.20
HUMEDAD (%)	8.10	8.83	10.35	12.12
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.806	1.880	1.920	1.872
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.921	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	10.10 %

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°43: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°61: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

FECHA : miércoles, 10 de agosto de 2016

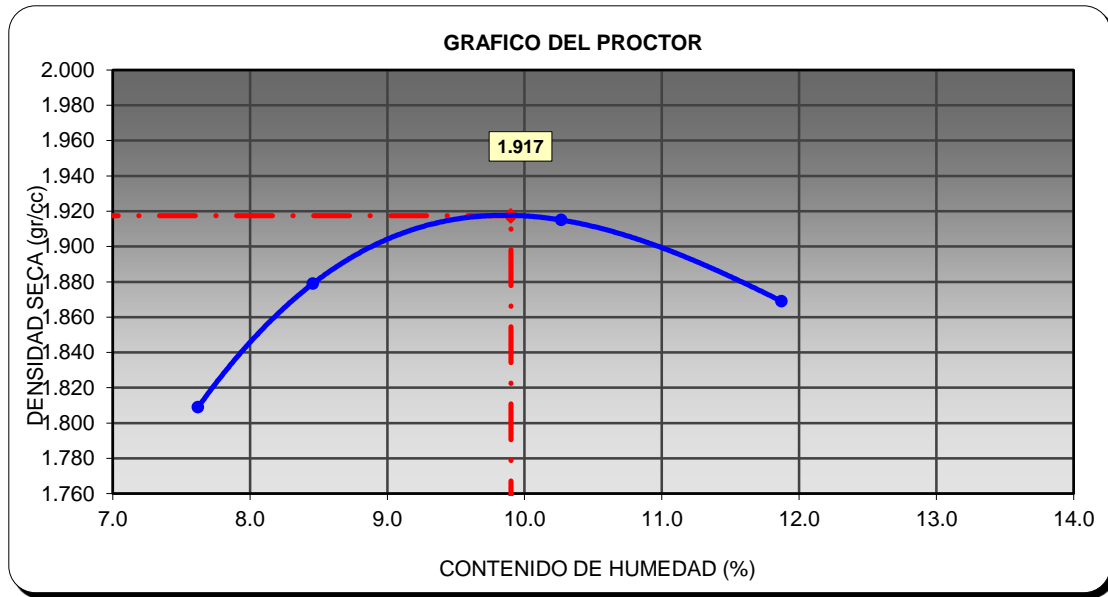
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10478	10669	10825	10781
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4099	4290	4446	4402
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	1.947	2.038	2.112	2.091
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	323.00	304.80	295.20	282.20
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	309.70	293.50	280.30	266.60
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	159.90	135.20	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	13.30	11.30	14.90	15.60
PESO DE SUELO SECO (gr.)	174.50	133.60	145.10	131.40
HUMEDAD (%)	7.62	8.46	10.27	11.87
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.809	1.879	1.915	1.869
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.917 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		9.90 %

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°44: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°62: Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

FECHA : miércoles, 10 de agosto de 2016

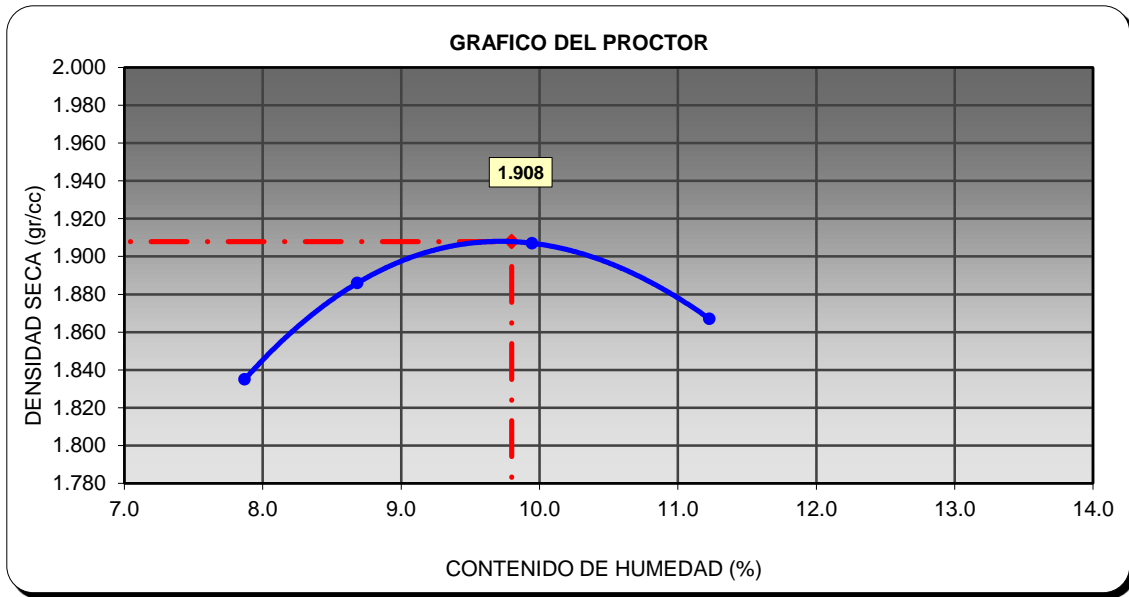
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10545	10693	10792	10750
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4166	4314	4413	4371
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	1.979	2.049	2.096	2.076
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	355.90	354.20	395.30	376.90
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	341.60	336.70	374.00	352.50
PESO DE LA TARA (gr.)	159.90	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	14.30	17.50	21.30	24.40
PESO DE SUELO SECO (gr.)	181.70	201.50	214.10	217.30
HUMEDAD (%)	7.87	8.68	9.95	11.23
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.835	1.886	1.907	1.867
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.908 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA: 9.80 %		

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°45: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°63: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : A DICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso

FECHA : viernes, 05 de agosto de 2016

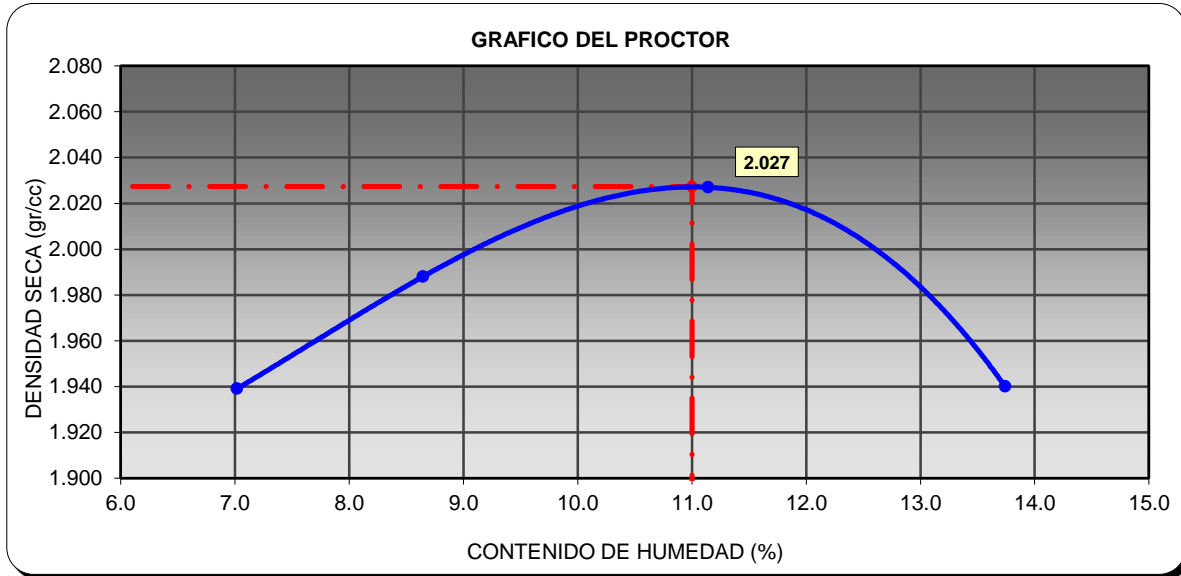
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10747	10926	11122	11024
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4368	4547	4743	4645
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	2.075	2.160	2.253	2.207
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	226.70	326.20	313.50	308.20
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	220.70	311.00	298.10	287.30
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	6.00	15.20	15.40	20.90
PESO DE SUELO SECO (gr.)	85.50	175.80	138.20	152.10
HUMEDAD (%)	7.02	8.65	11.14	13.74
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.939	1.988	2.027	1.940
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.027 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA: 11.00 %		

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°46: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°64: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : A DICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

FECHA : viernes, 05 de agosto de 2016

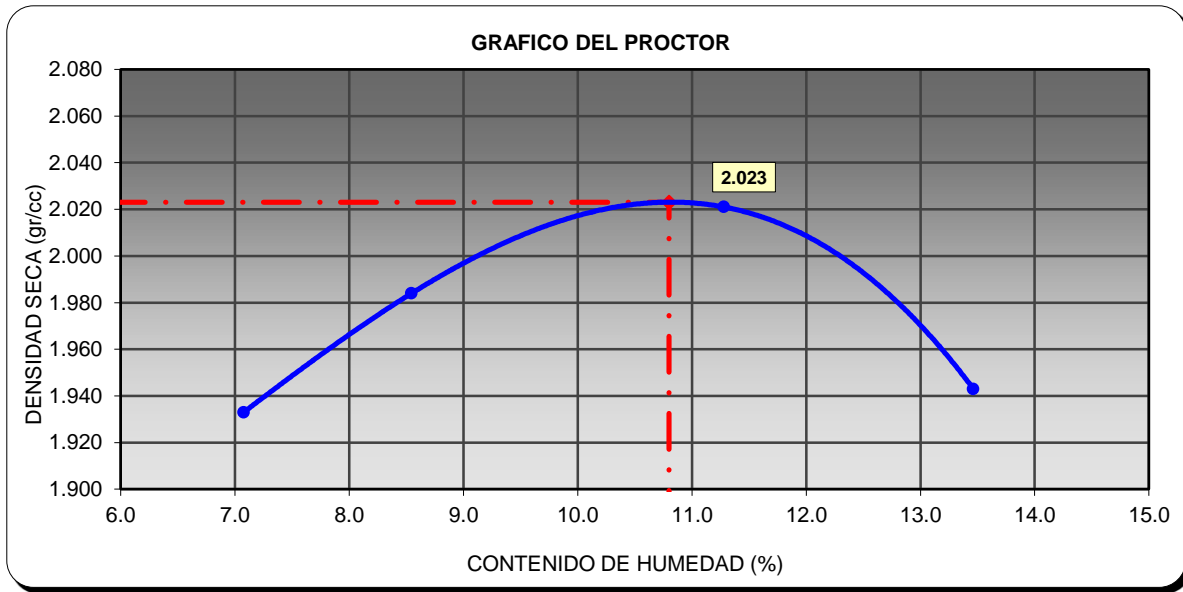
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10735	10912	11114	11020
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4356	4533	4735	4641
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	2.069	2.153	2.249	2.205
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	262.30	368.90	357.20	245.60
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	253.90	350.50	337.20	232.50
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	8.40	18.40	20.00	13.10
PESO DE SUELO SECO (gr.)	118.70	215.30	177.30	97.30
HUMEDAD (%)	7.08	8.55	11.28	13.46
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.933	1.984	2.021	1.943
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.023 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA: 10.80 %		

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°47: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +0.5% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°65: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : sábado, 06 de agosto de 2016

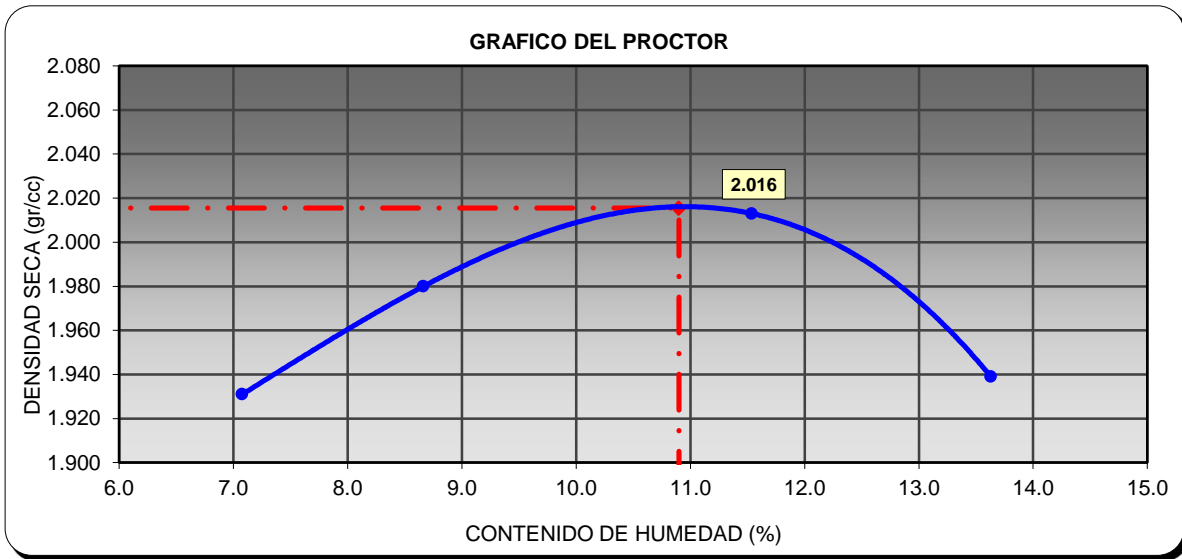
LUGAR : Laboratorio SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Mlagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1		2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10731		10907	11105
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4352		4528	4726
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	2.067		2.151	2.245
			2.245	2.203
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-		-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	301.60		345.90	287.50
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	290.60		329.10	274.30
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20		135.20	159.90
PESO DE AGUA (gr.)	11.00		16.80	13.20
PESO DE SUELO SECO (gr.)	155.40		193.90	114.40
HUMEDAD (%)	7.08		8.66	11.54
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.931		1.980	2.013
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.016 gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 10.90 %	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°48: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +1% de polímero adhesivo natural



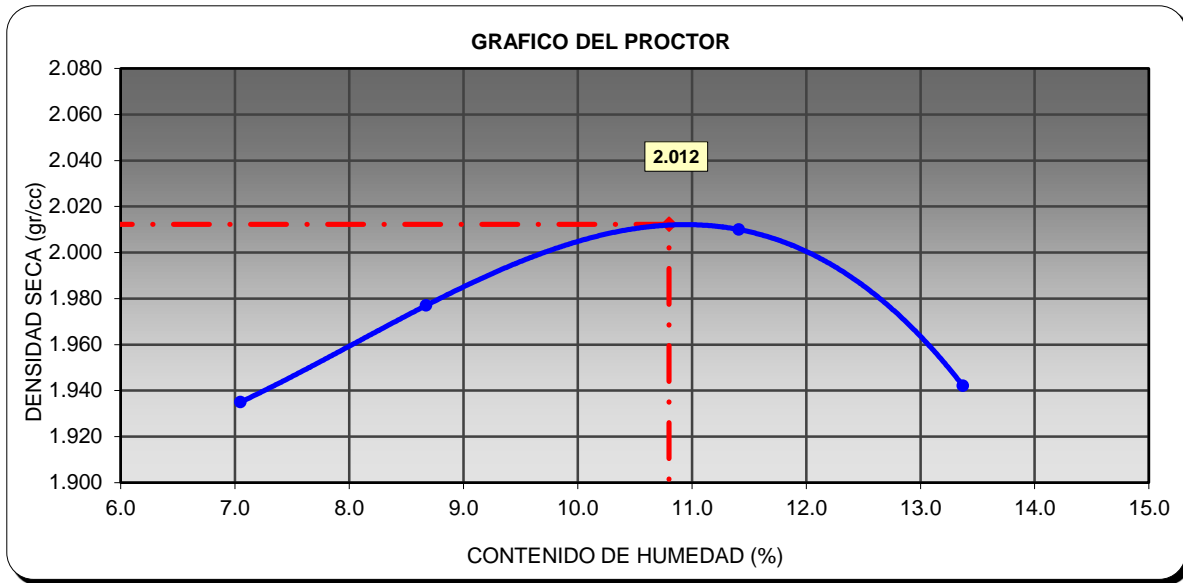
Fuente: Elaboración propia

TABLA N°66: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)			
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO		
ENSAYO	: PROCTOR MODIFICADO		
MUESTRA	: Suelo arenoso + 2% de polímero adhesivo natural		
FECHA	: sábado, 06 de agosto de 2016		
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales		
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca		
DENSIDAD HUMEDA			
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³) :	2105	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6379
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10740	10901	11094
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4361	4522	4715
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	2.072	2.148	2.240
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
RECIPiente Nro.	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	241.50	284.30	300.50
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	234.50	272.40	286.10
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90
PESO DE AGUA (gr.)	7.00	11.90	14.40
PESO DE SUELO SECO (gr.)	99.30	137.20	126.20
HUMEDAD (%)	7.05	8.67	11.41
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.935	1.977	2.010
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.012 gr/cc	HUMEDAD OPTIMA: 10.80 %	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°49: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +2% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

TABLA N°67: Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO : ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA : Suelo arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

FECHA : lunes, 08 de agosto de 2016

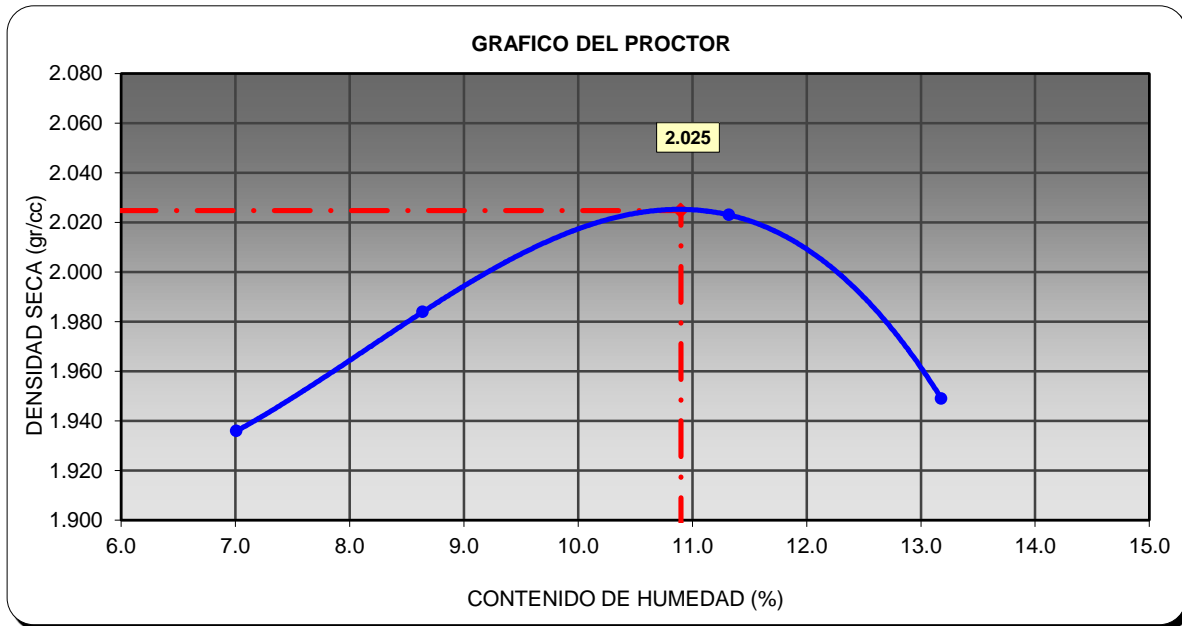
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³) :	2105		PESO DEL MOLDE (gr.) : 6379	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	10740	10916	11119	11023
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr.)	4361	4537	4740	4644
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (gr./cc)	2.072	2.155	2.252	2.206
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
RECIPIENTE Nro.	-	-	-	-
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	257.30	302.40	336.90	326.70
PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)	249.30	289.10	318.90	304.40
PESO DE LA TARA (gr.)	135.20	135.20	159.90	135.20
PESO DE AGUA (gr.)	8.00	13.30	18.00	22.30
PESO DE SUELO SECO (gr.)	114.10	153.90	159.00	169.20
HUMEDAD (%)	7.01	8.64	11.32	13.18
PESO VOLUMETRICO SECO (gr./cc)	1.936	1.984	2.023	1.949
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.025 gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 10.90 %	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°50: Gráfica de Proctor Modificado para suelo de estrato arenoso +3% de polímero adhesivo natural



Fuente: Elaboración propia

3.6.5.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

Del ensayo de densidad máxima (Proctor modificado) se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA N°68: Máxima densidad seca

		Máxima Densidad seca (gr/cm ³)
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.927
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	1.922
	+ 1% de polímero adhesivo natural	1.921
	+ 2% de polímero adhesivo natural	1.917
	+ 3% de polímero adhesivo natural	1.908
Suelo de estrato arenoso	Natural	2.027
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	2.023
	+ 1% de polímero adhesivo natural	2.016
	+ 2% de polímero adhesivo natural	2.012
	+ 3% de polímero adhesivo natural	2.025

Fuente: Elaboración propia

El suelo arenoso tiene una densidad máxima seca de 1.927 y la arcilla limosa tiene una densidad máxima seca de 2.027, al incrementar el porcentaje de polímero adhesivo natural, la densidad va disminuyendo.



3.6.6. CBR

3.6.6.1. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

- Porcentaje de Humedad :

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

Donde:

W_r: Masa del recipiente

W_h: Masa de Recipiente + Suelo Húmedo

W_s: Masa de Recipiente + Suelo Seco

$$W\% = \frac{375.6 - 353.7}{353.7 - 135.2} x 100$$

$$W\% = \frac{21.90}{218.50} x 100$$

$$W\% = 10.02$$

- Densidad Húmeda:

$$\rho_{hum} = \frac{W_{hum}}{V}$$

Donde:

ρ_{hum} : Densidad Húmeda

W_{hum}: Peso de la muestra húmeda

V: Volumen del molde

$$\rho_{hum} = \frac{4534}{2139} \text{ gr/cc}$$

$$\rho_{hum} = 2.12 \text{ gr/cc}$$



- Densidad Seca :

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

ρ_s : Densidad Seca

w: porcentaje de humedad

$$\rho_s = \frac{2.12}{1 + 10.02} \text{ gr/cc}$$

$$\rho_s = 1.927 \text{ gr/cc}$$

Cuando la parte inicial de la gráfica se presente cóncava hacia arriba, se debe trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, prolongándolo hasta el eje de las abscisas y cuyo punto se tomara como el nuevo origen.

$$CBR = \frac{\text{CARGA UNITARIA DEL ENSAYO}}{\text{CARGA UNITARIA PATRON}} \times 100$$

- El número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón.
- CBR a 0,1" de penetración:

$$CBR \text{ 0.1" } = \frac{3.6}{70.3} \times 100$$

$$CBR \text{ 0.1" } = 5.1$$

- CBR a 0,2" de penetración:

$$CBR \text{ 0.2" } = \frac{5.7}{105.5} \times 100$$

$$CBR \text{ 0.2" } = 5.4$$



- Porcentaje de expansión:

$$\%E = \frac{\text{Expansión}}{H} \times 100$$

Donde:

H: Altura del espécimen

$$\%E = \frac{0.02}{116.8} \times 100$$

$$\%E = 0.01$$

- Donde la altura de la muestra como dato es 116.8 mm.

3.6.6.2. DIAGRAMAS Y TABLAS

TABLA N°69: CBR de suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arcilloso
FECHA	: martes, 16 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12241	12256	11789	11799	11363	11456
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4534	4549	4366	4376	4172	4265
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.120	2.127	2.041	2.046	1.982	2.026
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	375.6	274.5	335.7	274.1	299.8	303.9
Tarro + Suelo seco (gr.)	353.7	260.2	319.6	261.8	287.1	284.5
Peso del Agua (gr.)	21.90	14.30	16.10	12.30	12.70	19.40
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	218.50	125.00	159.70	101.90	127.20	149.30
% de humedad	10.02	11.44	10.08	12.07	9.98	12.99
Densidad seca (gr/cc)	1.927	1.909	1.854	1.826	1.802	1.793

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/16	17:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
17/08/16	17:00	24	2.00	0.020	0.0	4.00	0.040	0.0	6.00	0.060	0.1
18/08/16	17:00	48	4.00	0.040	0.0	9.00	0.090	0.1	11.00	0.110	0.1
19/08/16	17:00	72	7.00	0.070	0.1	12.00	0.120	0.1	15.00	0.150	0.1
20/08/16	17:00	96	9.00	0.090	0.1	17.00	0.170	0.1	26.00	0.260	0.2

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		5	1.2		4	0.9		3	0.7	
0.050		10	2.3		6	1.4		4	0.9	
0.075		13	3.0		8	1.8		6	1.4	
0.100	70.3	17	3.9	5.13	10	2.3	3.32	8	1.8	2.56
0.150		20	4.6		13	3.0		11	2.5	
0.200	105.5	23	5.3	5.38	18	4.1	3.81	14	3.2	3.14
0.250		26	6.0		20	4.6		17	3.9	
0.300		32	7.4		23	5.3		20	4.6	
0.400		37	8.5		27	6.2		23	5.3	
0.500		45	10.4		31	7.1		25	5.8	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°51: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

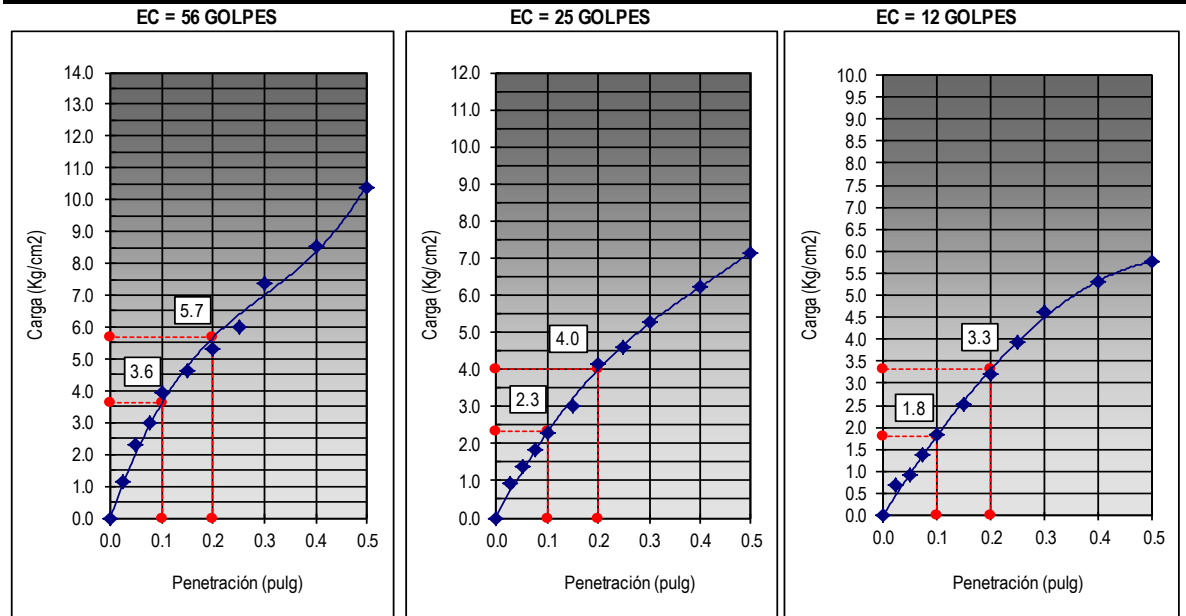
MUESTRA : Suelo arcilloso

FECHA : sábado, 20 de agosto de 2016

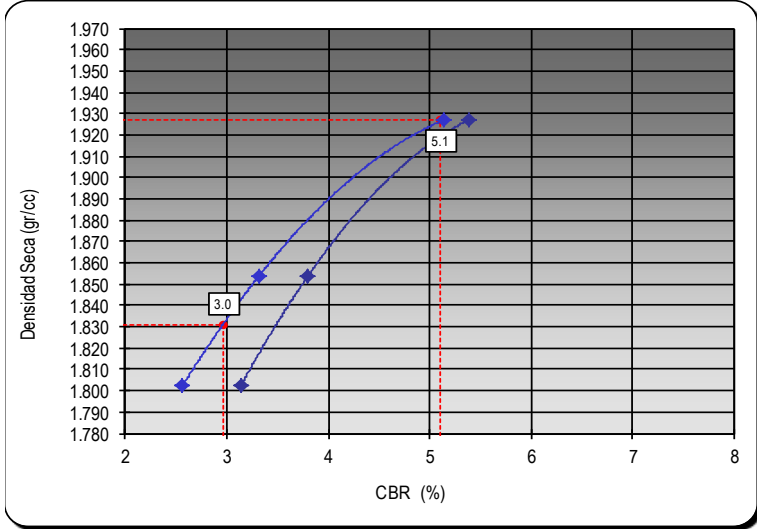
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 04Kg/cm2 Carga (2") : 06Kg/cm2 Carga (1") : 02Kg/cm2 Carga (2") : 04Kg/cm2 Carga (1") : 02Kg/cm2 Carga (2") : 03Kg/cm2



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	1.927
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.831
Óptimo Humedad (%)	10.20

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	5.1	5.4	1.927
25	3.3	3.8	1.854
12	2.6	3.1	1.802

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	5.1
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	3.0

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°70: CBR de suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural
FECHA	: lunes, 22 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12240	12255	11792	11809	11355	11430
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4533	4548	4369	4386	4164	4239
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.119	2.126	2.043	2.050	1.978	2.014
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	267.9	287.3	304.7	315.6	335.5	316.8
Tarro + Suelo seco (gr.)	255.7	271.8	291.2	298.7	319.6	295.9
Peso del Agua (gr.)	12.20	15.50	13.50	16.90	15.90	20.90
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	120.50	136.60	131.30	138.80	159.70	160.70
% de humedad	10.12	11.35	10.28	12.18	9.96	13.01
Densidad seca (gr/cc)	1.924	1.909	1.853	1.827	1.799	1.782

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/08/16	12:22	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
23/08/16	12:22	24	3.00	0.030	0.0	5.00	0.050	0.0	6.00	0.060	0.1
24/08/16	12:22	48	7.00	0.070	0.1	10.00	0.100	0.1	12.00	0.120	0.1
25/08/16	12:22	72	11.00	0.110	0.1	16.00	0.160	0.1	21.00	0.210	0.2
26/08/16	12:22	96	20.00	0.200	0.2	32.00	0.320	0.3	39.00	0.390	0.3

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		6	1.4		4	0.9		2	0.5	
0.050		9	2.1		6	1.4		4	0.9	
0.075		12	2.8		9	2.1		6	1.4	
0.100	70.3	17	3.9	5.27	11	2.5	3.63	10	2.3	2.87
0.150		22	5.1		15	3.5		13	3.0	
0.200	105.5	25	5.8	5.65	19	4.4	4.32	15	3.5	3.41
0.250		29	6.7		24	5.5		18	4.1	
0.300		33	7.6		27	6.2		21	4.8	
0.400		41	9.4		31	7.1		24	5.5	
0.500		52	12.0		35	8.1		26	6.0	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°52: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

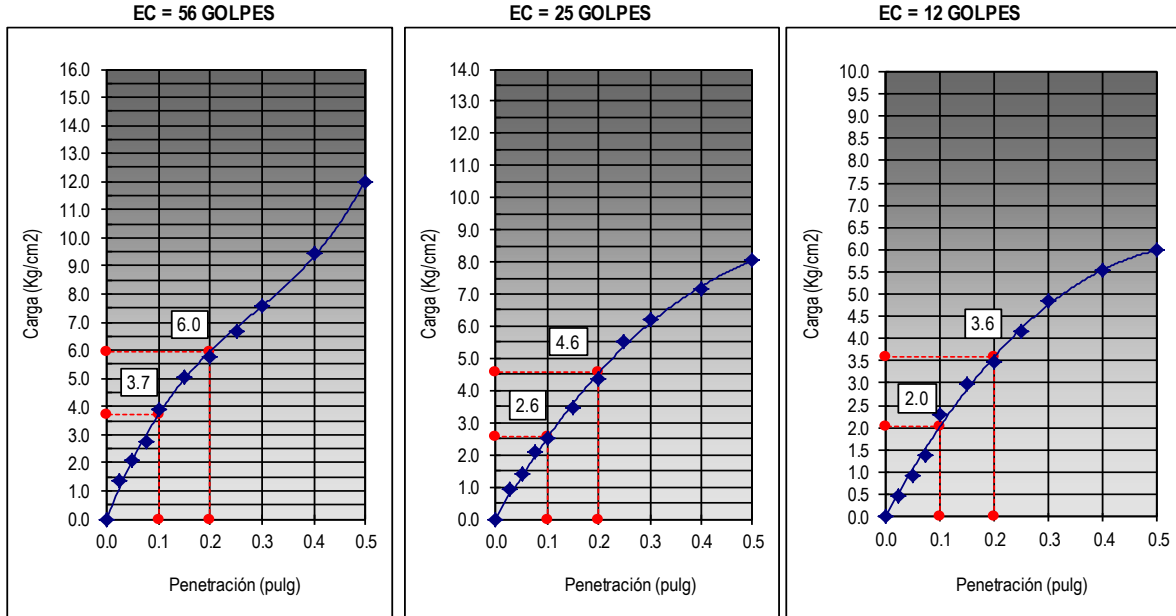
ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MUESTRA : Suelo arcilloso + 0.5% de polímero adhesivo natural

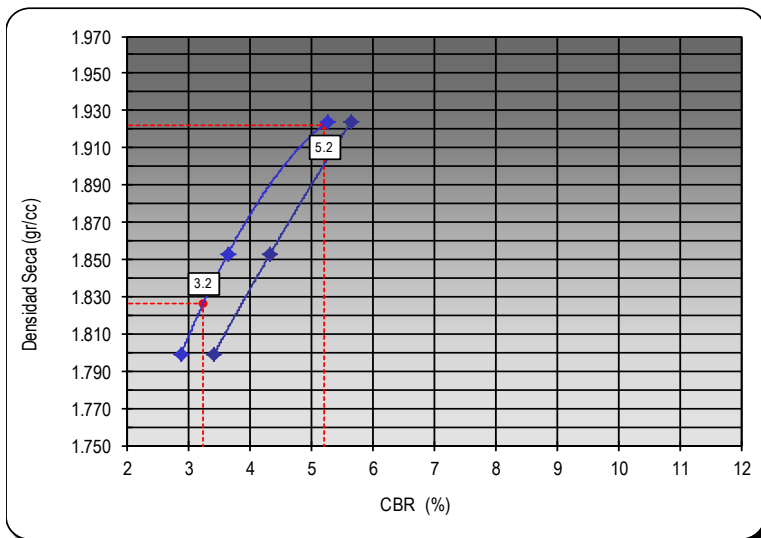
FECHA : viernes, 26 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 04Kg/cm2 Carga (2") : 06Kg/cm2 Carga (1") : 03Kg/cm2 Carga (2") : 05Kg/cm2 Carga (1") : 02Kg/cm2 Carga (2") : 04Kg/cm2



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	1.922
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.826
Óptimo Humedad (%)	10.20

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	5.3	5.6	1.924
25	3.6	4.3	1.853
12	2.9	3.4	1.799

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	5.2
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	3.2

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°71: CBR de suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MUESTRA : Suelo arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : lunes, 22 de agosto de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12236	12263	11776	11789	11357	11430
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4529	4556	4353	4366	4166	4239
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.117	2.130	2.035	2.041	1.979	2.014
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	225.2	302.0	268.5	201.7	272.2	289.9
Tarro + Suelo seco (gr.)	216.9	284.8	258.7	197.2	261.8	272.2
Peso del Agua (gr.)	8.30	17.20	9.80	4.50	10.40	17.70
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	81.70	149.60	98.80	37.30	101.90	137.00
% de humedad	10.16	11.50	9.92	12.06	10.21	12.92
Densidad seca (gr/cc)	1.922	1.910	1.851	1.821	1.796	1.784

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/08/16	18:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
23/08/16	18:00	24	5.00	0.050	0.0	6.00	0.060	0.1	7.00	0.070	0.1
24/08/16	18:00	48	9.00	0.090	0.1	12.00	0.120	0.1	14.00	0.140	0.1
25/08/16	18:00	72	16.00	0.160	0.1	21.00	0.210	0.2	26.00	0.260	0.2
26/08/16	18:00	96	31.00	0.310	0.3	45.00	0.450	0.4	52.00	0.520	0.4

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		7	1.6		4	0.9		3	0.7	
0.050		10	2.3		7	1.6		5	1.2	
0.075		14	3.2		10	2.3		7	1.6	
0.100	70.3	19	4.4	5.79	12	2.8	3.74	9	2.1	2.95
0.150		23	5.3		14	3.2		13	3.0	
0.200	105.5	26	6.0	6.02	20	4.6	4.34	15	3.5	3.45
0.250		31	7.1		23	5.3		18	4.1	
0.300		35	8.1		26	6.0		22	5.1	
0.400		44	10.1		33	7.6		25	5.8	
0.500		59	13.6		37	8.5		29	6.7	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°53: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

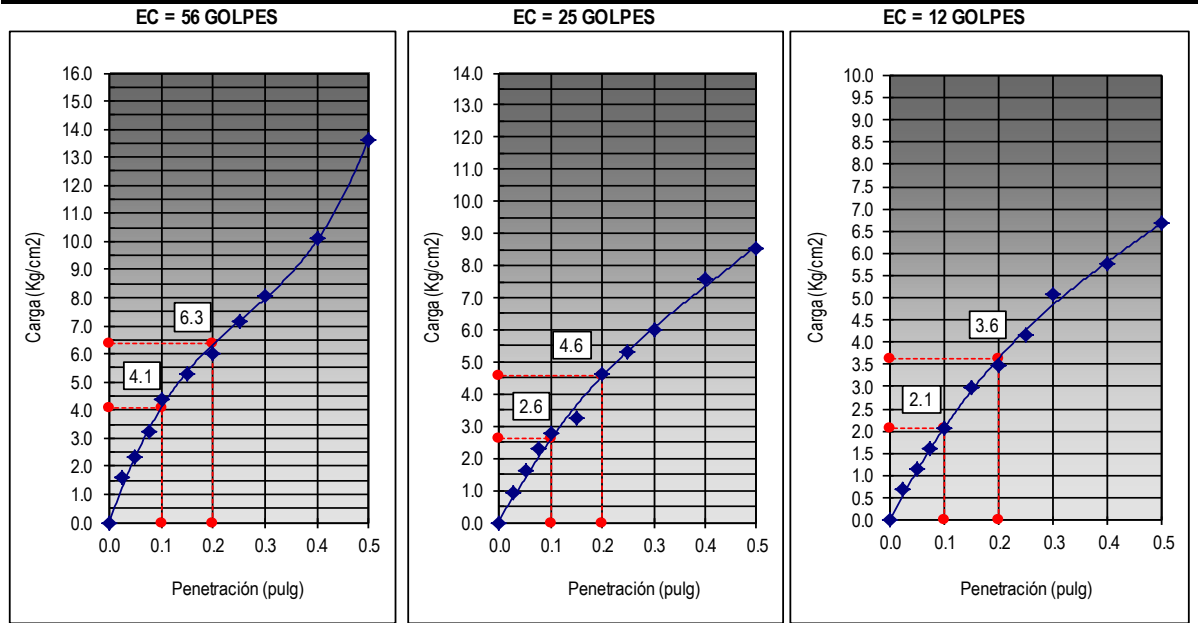
MUESTRA : Suelo arcilloso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : viernes, 26 de agosto de 2016

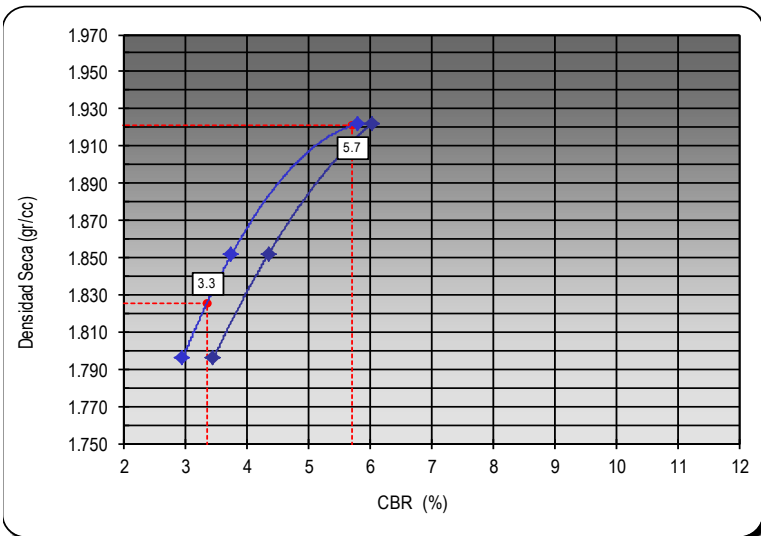
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRÁFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1^o) : 04Kg/cm² Carga (2^o) : 06Kg/cm² Carga (1^o) : 03Kg/cm² Carga (2^o) : 05Kg/cm² Carga (1^o) : 02Kg/cm² Carga (2^o) : 04Kg/cm²



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	1.921
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.825
Óptimo Humedad (%)	10.10

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	5.8	6.0	1.922
25	3.7	4.3	1.851
12	2.9	3.4	1.796

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	5.7
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	3.3

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°72: CBR de suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural	
FECHA	: jueves, 01 de septiembre de 2016	
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales	
RESPONSABLES	: Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12232	12248	11773	11782	11350	11423
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4525	4541	4350	4359	4159	4232
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.115	2.123	2.034	2.038	1.976	2.010
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	225.2	312.5	291.2	201.7	272.2	289.9
Tarro + Suelo seco (gr.)	217.1	293.8	279.4	197.1	261.8	272.0
Peso del Agua (gr.)	8.10	18.70	11.80	4.60	10.40	17.90
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	81.90	158.60	119.50	37.20	101.90	136.80
% de humedad	9.89	11.79	9.87	12.37	10.21	13.08
Densidad seca (gr/cc)	1.925	1.899	1.851	1.814	1.793	1.778

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
01/09/16	17:30	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
02/09/16	17:30	24	6.00	0.060	0.1	7.00	0.070	0.1	8.00	0.080	0.1
03/09/16	17:30	48	11.00	0.110	0.1	14.00	0.140	0.1	18.00	0.180	0.2
04/09/16	17:30	72	23.00	0.230	0.2	28.00	0.280	0.2	35.00	0.350	0.3
05/09/16	17:30	96	36.00	0.360	0.3	48.00	0.480	0.4	57.00	0.570	0.5

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		5	1.2		4	0.9		3	0.7	
0.050		10	2.3		7	1.6		6	1.4	
0.075		16	3.7		11	2.5		8	1.8	
0.100	70.3	20	4.6	6.26	15	3.5	4.85	11	2.5	3.23
0.150		26	6.0		21	4.8		14	3.2	
0.200	105.5	32	7.4	7.13	26	6.0	5.66	16	3.7	3.74
0.250		37	8.5		31	7.1		18	4.1	
0.300		44	10.1		34	7.8		24	5.5	
0.400		52	12.0		39	9.0		29	6.7	
0.500		62	14.3		44	10.1		33	7.6	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°54: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

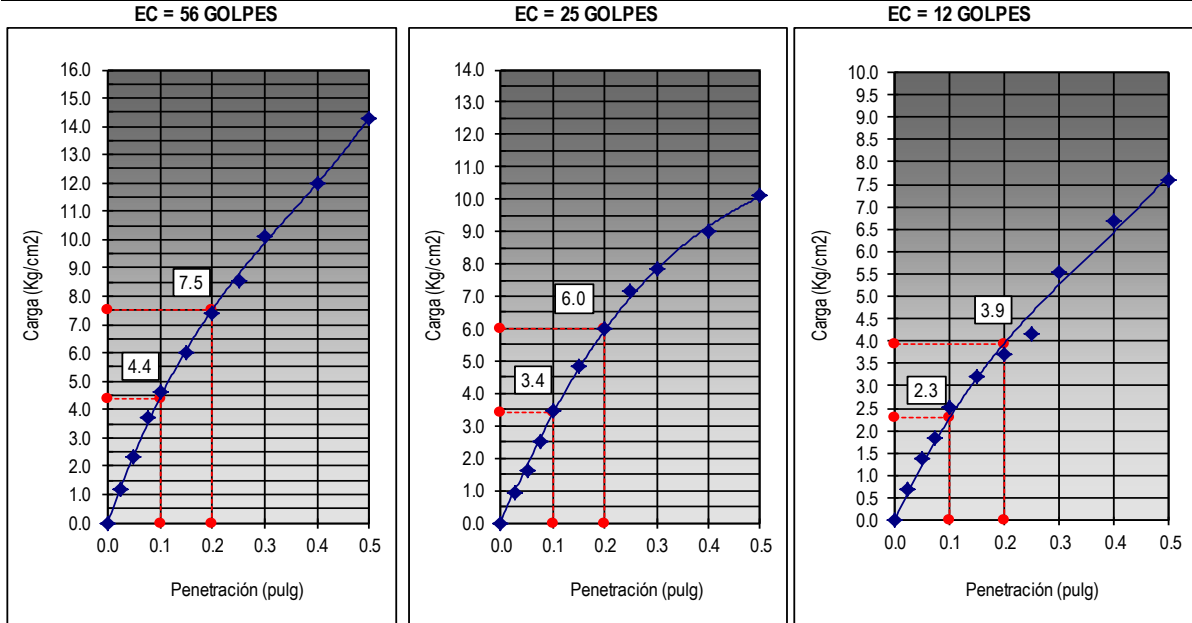
MUESTRA : Suelo arcilloso + 2% de polímero adhesivo natural

FECHA : lunes, 05 de septiembre de 2016

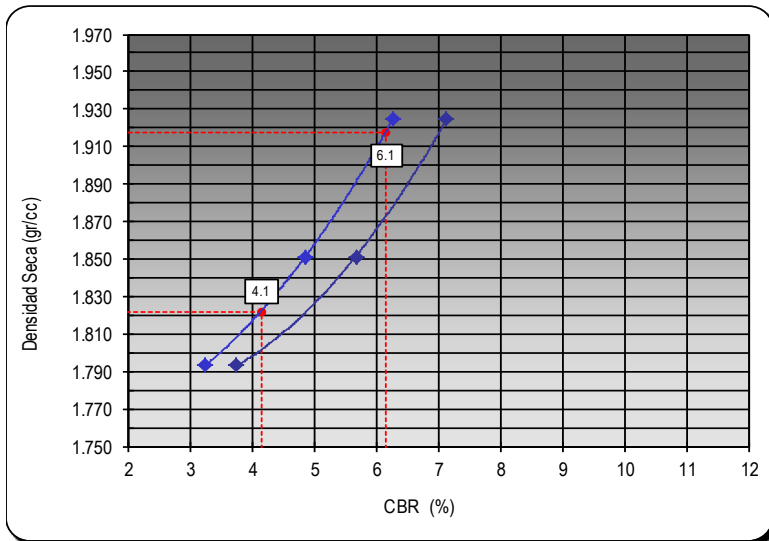
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1^o) : 04Kg/cm² Carga (2^o) :08Kg/cm² Carga (1^o) : 03Kg/cm² Carga (2^o) :06Kg/cm² Carga (1^o) :02Kg/cm² Carga (2^o) : 04Kg/cm²



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	1.917
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.822
Óptimo Humedad (%)	9.90

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	6.3	7.1	1.925
25	4.8	5.7	1.851
12	3.2	3.7	1.793

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	6.1
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	4.1

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°73: CBR de suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EV ALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural
FECHA	: martes, 06 de septiembre de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12186	12229	11776	11789	11340	11427
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4479	4522	4353	4366	4149	4236
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.094	2.114	2.035	2.041	1.971	2.012
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	224.1	205.2	266.6	192.2	263.2	193.7
Tarro + Suelo seco (gr.)	216.3	198.1	257.0	188.8	254.0	187.2
Peso del Agua (gr.)	7.80	7.10	9.60	3.40	9.20	6.50
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	159.9	159.9	159.9	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	81.10	62.90	97.10	28.90	94.10	52.00
% de humedad	9.62	11.29	9.89	11.76	9.78	12.50
Densidad seca (gr/cc)	1.910	1.900	1.852	1.826	1.795	1.788

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
06/09/16	13:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
07/09/16	13:00	24	6.00	0.060	0.1	8.00	0.080	0.1	11.00	0.110	0.1
08/09/16	13:00	48	18.00	0.180	0.2	21.00	0.210	0.2	30.00	0.300	0.3
09/09/16	13:00	72	29.00	0.290	0.2	35.00	0.350	0.3	41.00	0.410	0.4
10/09/16	13:00	96	50.00	0.500	0.4	56.00	0.560	0.5	64.00	0.640	0.5

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		5	1.2		3	0.7		2	0.5	
0.050		8	1.8		6	1.4		4	0.9	
0.075		11	2.5		8	1.8		6	1.4	
0.100	70.3	13	3.0	4.47	11	2.5	3.46	9	2.1	2.65
0.150		18	4.1		14	3.2		12	2.8	
0.200	105.5	23	5.3	5.10	18	4.1	4.08	15	3.5	3.31
0.250		28	6.4		23	5.3		17	3.9	
0.300		31	7.1		26	6.0		22	5.1	
0.400		36	8.3		30	6.9		27	6.2	
0.500		43	9.9		37	8.5		31	7.1	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°55: Gráficas de CBR para suelo de estrato arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

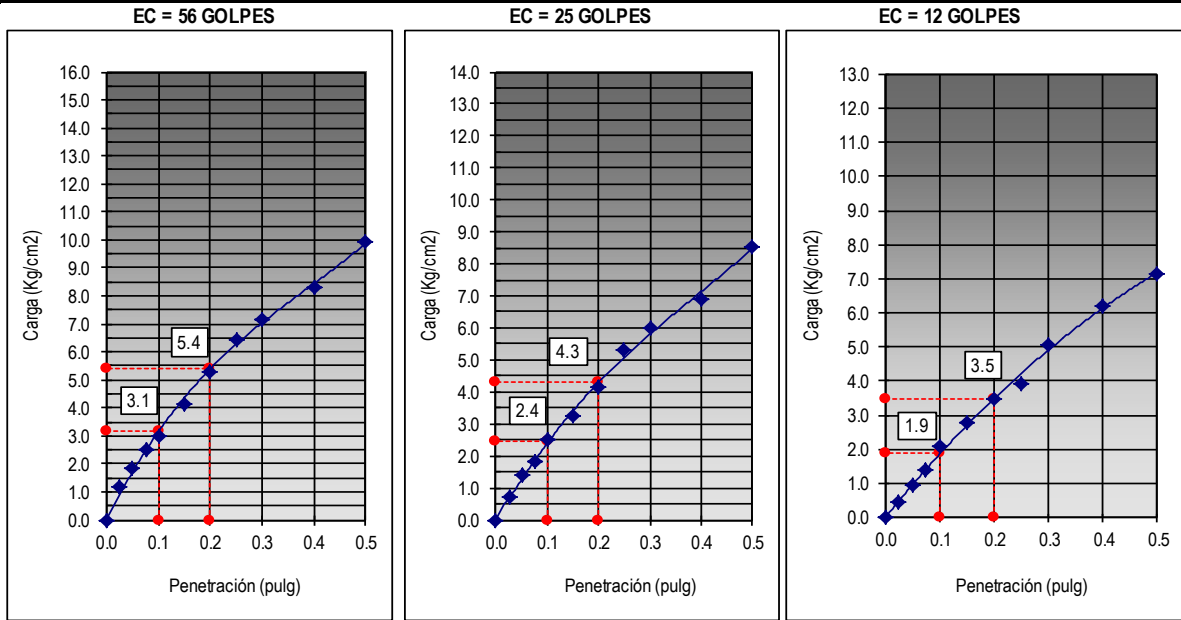
MUESTRA : Suelo arcilloso + 3% de polímero adhesivo natural

FECHA : sábado, 10 de septiembre de 2016

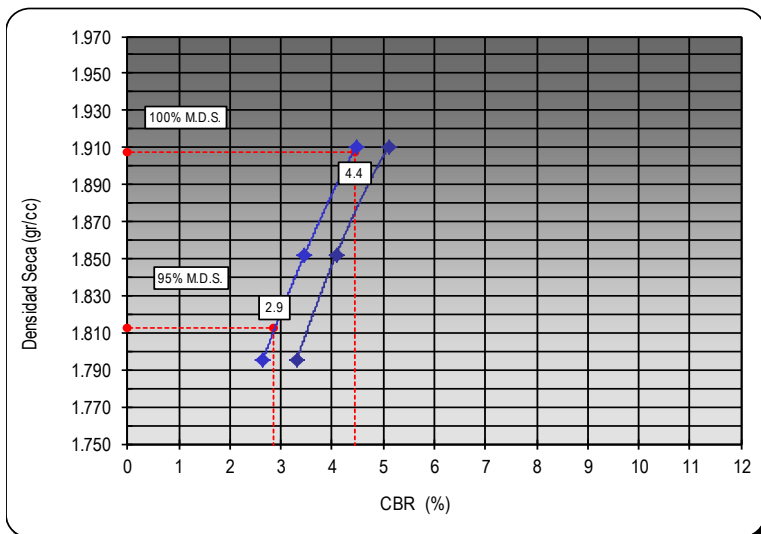
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 03Kg/cm² Carga (2") : 05Kg/cm² Carga (1") : 02Kg/cm² Carga (2") : 04Kg/cm² Carga (1") : 02Kg/cm² Carga (2") : 03Kg/cm²



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	1.908
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.812
Óptimo Humedad (%)	9.80

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	4.5	5.1	1.910
25	3.5	4.1	1.852
12	2.6	3.3	1.795

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	4.4
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	2.9

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°74: CBR de suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arenoso
FECHA	: lunes, 15 de agosto de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12523	12552	12115	12136	11645	11698
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4816	4845	4692	4713	4454	4507
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.252	2.265	2.194	2.203	2.116	2.141
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	223.5	250.1	226.9	260.4	230.3	295.4
Tarro + Suelo seco (gr.)	214.7	237.3	217.8	246.1	220.8	276.3
Peso del Agua (gr.)	8.80	12.80	9.10	14.30	9.50	19.10
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	79.50	102.10	82.60	110.90	85.60	141.10
% de humedad	11.07	12.54	11.02	12.89	11.10	13.54
Densidad seca (gr/cc)	2.028	2.013	1.976	1.951	1.905	1.886

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/08/16	12:30	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
16/08/16	12:30	24	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	1.00	0.010	0.0
17/08/16	12:30	48	0.50	0.005	0.0	1.00	0.010	0.0	2.00	0.020	0.0
18/08/16	12:30	72	1.00	0.010	0.0	2.00	0.020	0.0	4.00	0.040	0.0
19/08/16	12:30	96	2.00	0.020	0.0	4.00	0.040	0.0	6.00	0.060	0.1

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		3	0.7		2	0.5		1	0.2	
0.050		4	0.9		3	0.7		2	0.5	
0.075		5	1.2		4	0.9		3	0.7	
0.100	70.3	7	1.6	1.86	6	1.4	1.28	5	1.2	0.93
0.150		9	2.1		7	1.6		6	1.4	
0.200	105.5	12	2.8	3.11	9	2.1	2.61	8	1.8	2.26
0.250		15	3.5		12	2.8		10	2.3	
0.300		31	7.1		28	6.4		25	5.8	
0.400		40	9.2		37	8.5		34	7.8	
0.500		57	13.1		49	11.3		43	9.9	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°56: Graficas de CBR para suelo de estrato arenoso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

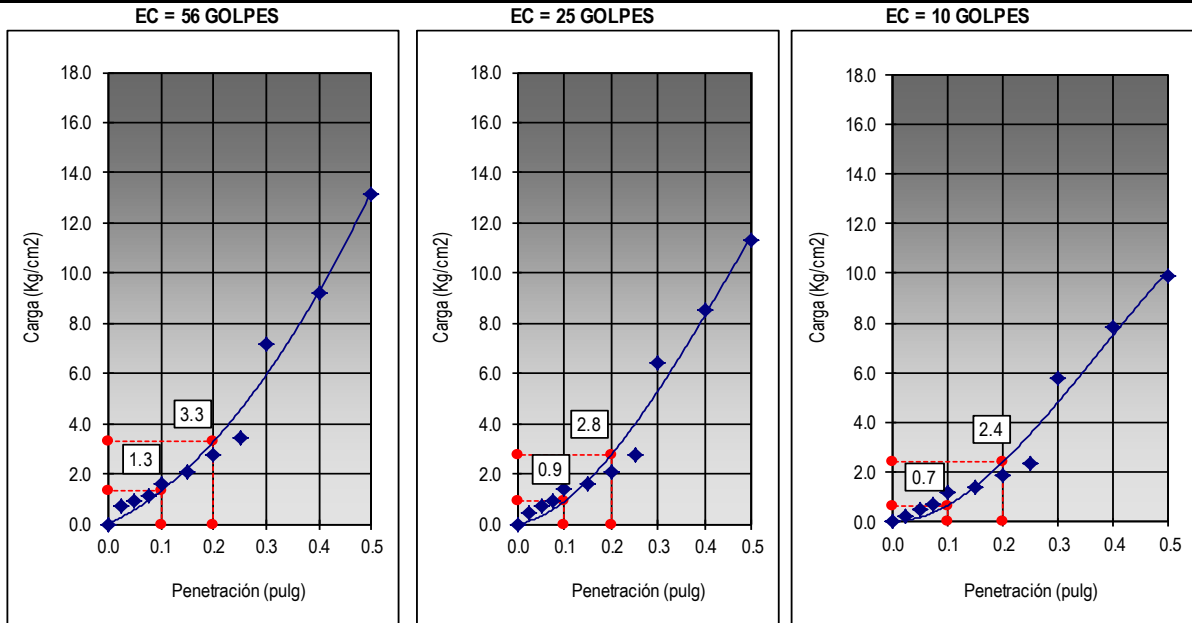
MUESTRA : Suelo arenoso

FECHA : viernes, 19 de agosto de 2016

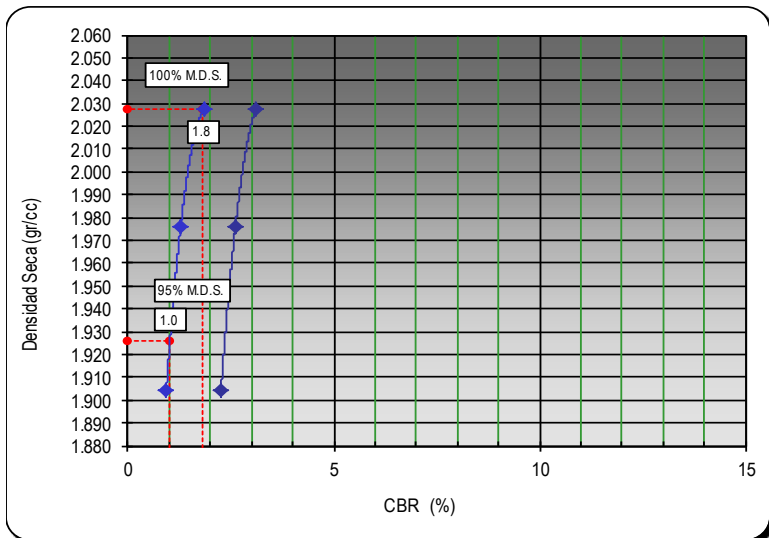
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 01Kg/cm2 Carga (2") :03Kg/cm2 Carga (1") :01Kg/cm2 Carga (2") :03Kg/cm2 Carga (1") :01Kg/cm2 Carga (2") : 02Kg/cm2



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.027
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.926
Óptimo Humedad (%)	11.00

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	1.9	3.1	2.028
25	1.3	2.6	1.976
12	0.9	2.3	1.905

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	1.8
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	1.0

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°75: CBR de suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	Suelo arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural
FECHA	sábado, 20 de agosto de 2016
LUGAR	SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN

Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12522	12541	12104	12125	11631	11643
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4815	4834	4681	4702	4440	4452
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.251	2.260	2.188	2.198	2.109	2.115
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	278.9	345.8	239.4	291.2	284.3	245.7
Tarro + Suelo seco (gr.)	264.4	322.8	228.9	273.3	269.3	232.5
Peso del Agua (gr.)	14.50	23.00	10.50	17.90	15.00	13.20
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	129.20	187.60	93.70	138.10	134.10	97.30
% de humedad	11.22	12.26	11.21	12.96	11.19	13.57
Densidad seca (gr/cc)	2.024	2.013	1.967	1.946	1.897	1.862

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/08/16	18:30	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
21/08/16	18:30	24	1.00	0.010	0.0	2.00	0.020	0.0	3.00	0.030	0.0
22/08/16	18:30	48	2.00	0.020	0.0	3.00	0.030	0.0	5.00	0.050	0.0
23/08/16	18:30	72	3.00	0.030	0.0	5.00	0.050	0.0	8.00	0.080	0.1
24/08/16	18:30	96	5.00	0.050	0.0	7.00	0.070	0.1	11.00	0.110	0.1

PENETRACIÓN

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		7	1.6		4	0.9		3	0.7	
0.050		20	4.6		13	3.0		8	1.8	
0.075		38	8.8		26	6.0		14	3.2	
0.100	70.3	46	10.6	13.25	32	7.4	9.21	24	5.5	6.60
0.150		61	14.0		44	10.1		37	8.5	
0.200	105.5	87	20.0	21.45	65	15.0	16.04	46	10.6	10.60
0.250		127	29.2		96	22.1		55	12.7	
0.300		169	38.9		135	31.1		90	20.7	
0.400		208	47.9		164	37.8		120	27.6	
0.500		231	53.2		191	44.0		156	35.9	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°57: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

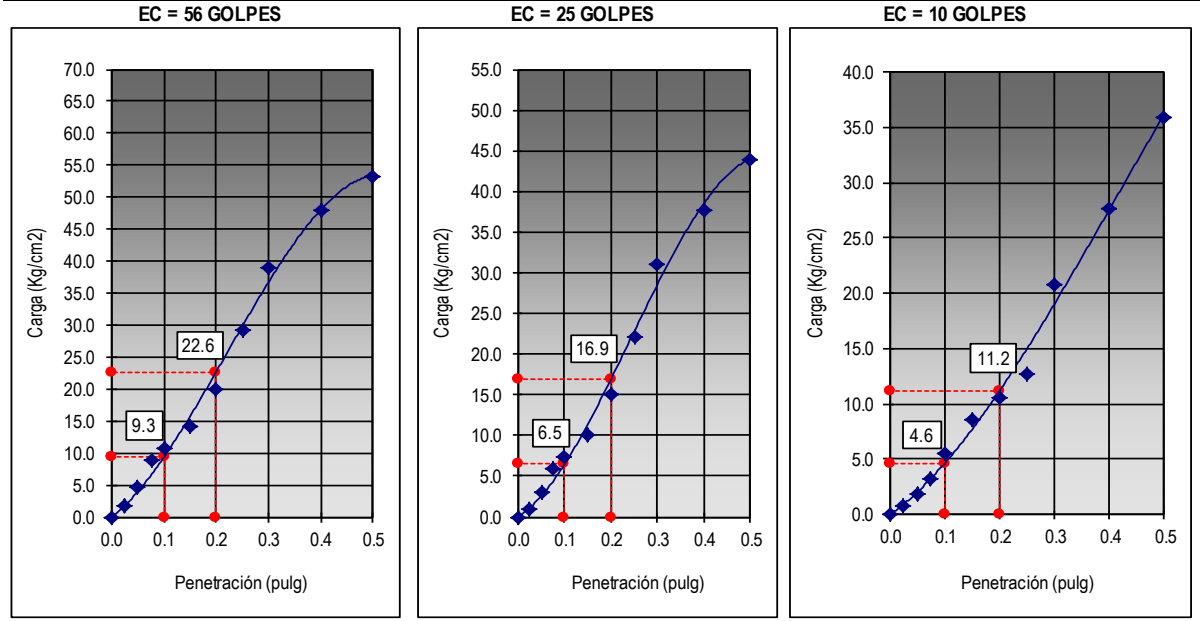
MUESTRA : Suelo arenoso + 0.5% de polímero adhesivo natural

FECHA : miércoles, 24 de agosto de 2016

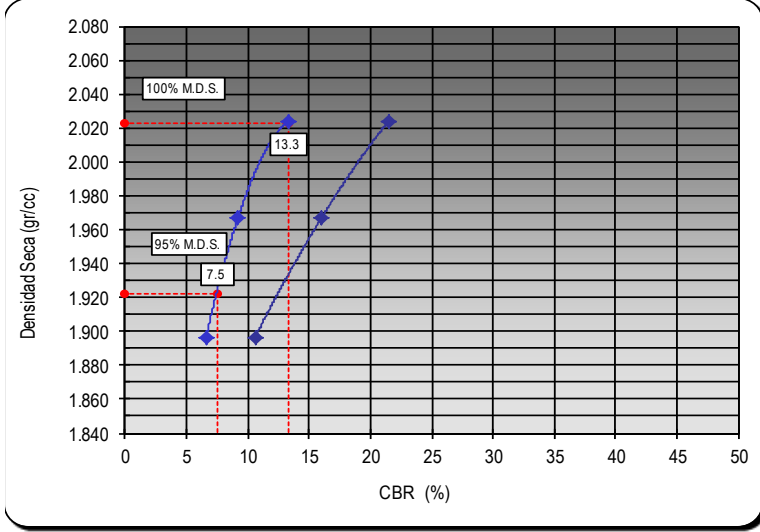
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRÁFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 09Kg/cm2 Carga (2") :23Kg/cm2 Carga (1") :06Kg/cm2 Carga (2") :17Kg/cm2 Carga (1") :05Kg/cm2 Carga (2") : 11Kg/cm2



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.023
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.922
Optimo Humedad (%)	10.80

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	13.3	21.5	2.024
25	9.2	16.0	1.967
12	6.6	10.6	1.897

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	13.3
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	7.5

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°76: CBR de suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arenoso + 1% de polímero adhesivo natural
FECHA	: jueves, 25 de agosto de 2016
LUGAR	: Laboratorio SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12205	12214	12322	12337	11610	11632
Peso de molde (gr)	7423	7423	7707	7707	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4782	4791	4615	4630	4419	4441
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.236	2.240	2.158	2.165	2.099	2.110
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	293.5	270.9	245.7	245.2	330.3	295.6
Tarro + Suelo seco (gr.)	277.9	259.6	234.9	236.0	311.2	277.2
Peso del Agua (gr.)	15.60	11.30	10.80	9.20	19.10	18.40
Peso del tarro (gr.)	135.2	159.9	135.2	159.9	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	142.70	99.70	99.70	76.10	176.00	142.00
% de humedad	10.93	11.33	10.83	12.09	10.85	12.96
Densidad seca (gr/cc)	2.016	2.012	1.947	1.931	1.894	1.868

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/08/16	14:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
26/08/16	14:00	24	4.00	0.040	0.0	5.00	0.050	0.0	6.00	0.060	0.1
27/08/16	14:00	48	5.00	0.050	0.0	7.00	0.070	0.1	8.00	0.080	0.1
28/08/16	14:00	72	6.00	0.060	0.1	9.00	0.090	0.1	12.00	0.120	0.1
29/08/16	14:00	96	7.00	0.070	0.1	10.00	0.100	0.1	15.00	0.150	0.1

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		10	2.3		7	1.6		5	1.2	
0.050		31	7.1		27	6.2		16	3.7	
0.075		57	13.1		40	9.2		28	6.4	
0.100	70.3	77	17.7	22.03	56	12.9	17.09	45	10.4	12.66
0.150		95	21.9		81	18.7		67	15.4	
0.200	105.5	136	31.3	30.80	114	26.3	25.26	88	20.3	19.97
0.250		175	40.3		142	32.7		105	24.2	
0.300		224	51.6		187	43.1		163	37.5	
0.400		283	65.2		238	54.8		203	46.8	
0.500		342	78.8		276	63.6		245	56.4	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°58: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

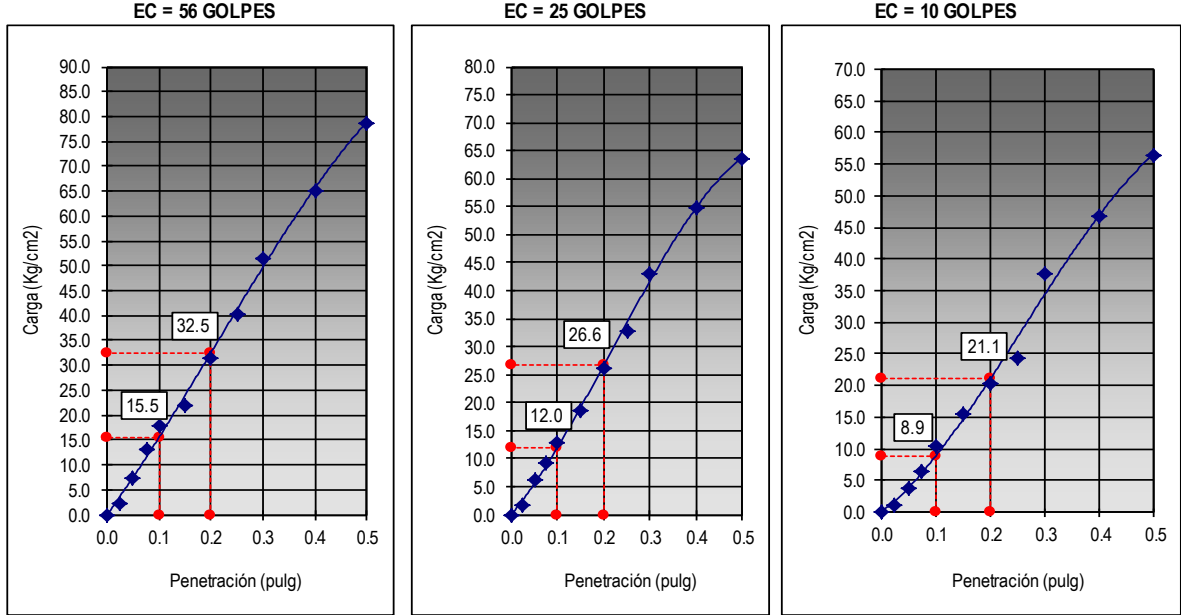
MUESTRA : Suelo arenoso + 1% de polímero adhesivo natural

FECHA : lunes, 29 de agosto de 2016

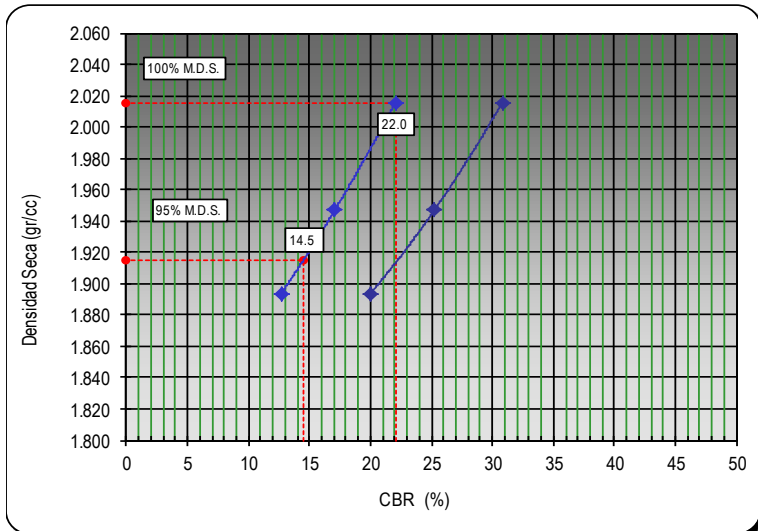
LUGAR : Laboratorio SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1°) : 15Kg/cm² Carga (2°) : 32Kg/cm² Carga (1°) : 12Kg/cm² Carga (2°) : 27Kg/cm² Carga (1°) : 09Kg/cm² Carga (2°) : 21Kg/cm²



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.016
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.915
Óptimo Humedad (%)	10.90

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	22.0	30.8	2.016
25	17.1	25.3	1.947
12	12.7	20.0	1.894

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	22.0
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	14.5

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°77: CBR de suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		 UAC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	Suelo arenoso + 2% de polímero adhesivo natural
FECHA	martes, 30 de agosto de 2016
LUGAR	SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN

Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12482	12491	12097	12109	11635	11657
Peso de molde (gr)	7707	7707	7423	7423	7191	7191
Peso del suelo húmedo (gr)	4775	4784	4674	4686	4444	4466
Volumen del molde (cc)	2139	2139	2139	2139	2105	2105
Densidad húmeda (gr/cc)	2.232	2.237	2.185	2.191	2.111	2.122
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	265.4	312.1	289.5	228.2	249.3	295.4
Tarro + Suelo seco (gr.)	252.6	294.2	274.3	218.2	238.1	277.2
Peso del Agua (gr.)	12.80	17.90	15.20	10.00	11.20	18.20
Peso del tarro (gr.)	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	117.40	159.00	139.10	83.00	102.90	142.00
% de humedad	10.90	11.26	10.93	12.05	10.88	12.82
Densidad seca (gr/cc)	2.013	2.011	1.970	1.955	1.904	1.881

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
30/08/16	17:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
31/08/16	17:00	24	2.00	0.020	0.0	3.00	0.030	0.0	4.00	0.040	0.0
01/09/16	17:00	48	4.00	0.040	0.0	6.00	0.060	0.1	7.00	0.070	0.1
02/09/16	17:00	72	6.00	0.060	0.1	11.00	0.110	0.1	18.00	0.180	0.2
03/09/16	17:00	96	9.00	0.090	0.1	17.00	0.170	0.1	25.00	0.250	0.2

PENETRACIÓN

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		14	3.2		10	2.3		6	1.4	
0.050		38	8.8		28	6.4		21	4.8	
0.075		59	13.6		42	9.7		35	8.1	
0.100	70.3	76	17.5	25.83	63	14.5	20.51	48	11.1	15.43
0.150		125	28.8		97	22.3		78	18.0	
0.200	105.5	180	41.5	38.33	143	32.9	30.58	120	27.6	26.67
0.250		217	50.0		184	42.4		169	38.9	
0.300		284	65.4		228	52.5		202	46.5	
0.400		358	82.5		293	67.5		276	63.6	
0.500		423	97.4		370	85.2		312	71.9	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°59: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

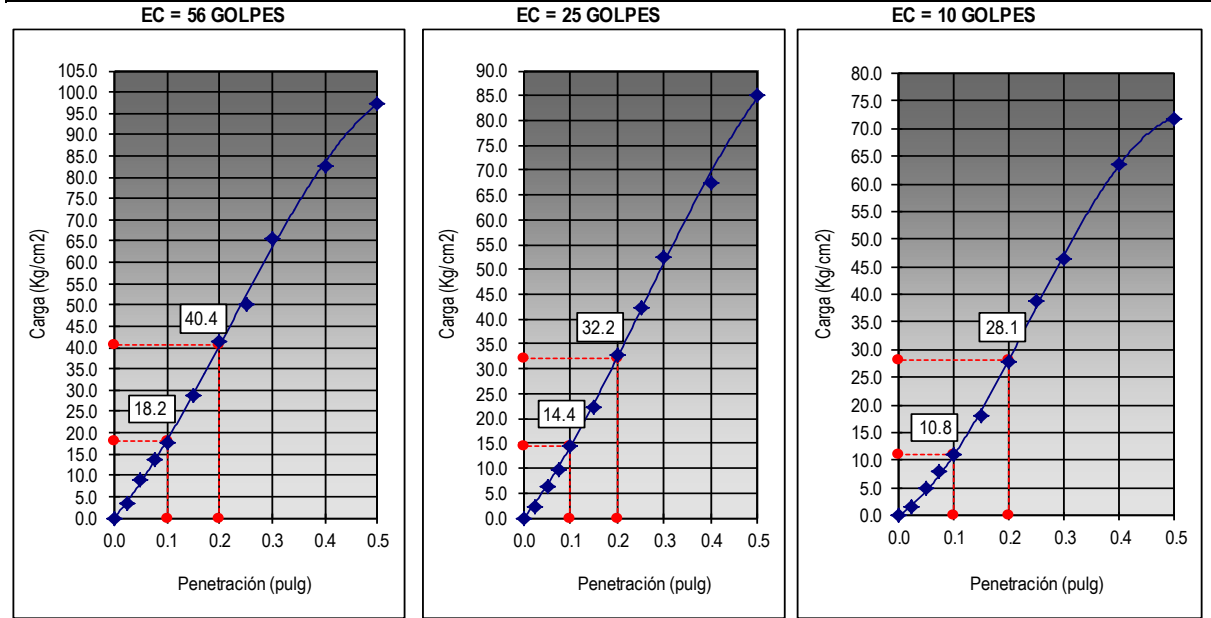
MUESTRA : Suelo arenoso + 2% de polímero adhesivo natural

FECHA : sábado, 03 de septiembre de 2016

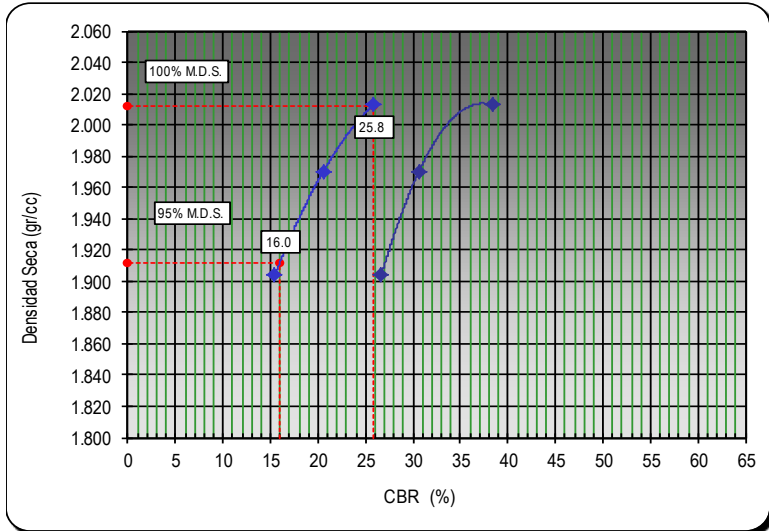
LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1") : 18Kg/cm2 Carga (2") : 40Kg/cm2 Carga (1") : 14Kg/cm2 Carga (2") : 32Kg/cm2 Carga (1") : 11Kg/cm2 Carga (2") : 28Kg/cm2



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.012
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.912
Optimo Humedad (%)	10.80

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	25.8	38.3	2.013
25	20.5	30.6	1.970
12	15.4	26.7	1.904

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	25.8
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	16.0

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°78: CBR de suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO
ENSAYO	: RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
MUESTRA	: Suelo arenoso + 3% de polímero adhesivo natural
FECHA	: domingo, 04 de septiembre de 2016
LUGAR	: SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

COMPACTACIÓN						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	11916	11923	12041	12067	12180	12198
Peso de molde (gr)	7191	7191	7423	7423	7707	7707
Peso del suelo húmedo (gr)	4725	4732	4618	4644	4473	4491
Volumen del molde (cc)	2105	2105	2139	2139	2139	2139
Densidad húmeda (gr/cc)	2.245	2.248	2.159	2.171	2.091	2.100
Tarro N°	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	223.1	242.7	244.5	257.6	302.3	287.5
Tarro + Suelo seco (gr.)	214.5	234.4	233.7	247.1	285.9	270.1
Peso del Agua (gr.)	8.60	8.30	10.80	10.50	16.40	17.40
Peso del tarro (gr.)	135.2	159.9	135.2	159.9	135.2	135.2
Peso del suelo seco (gr.)	79.30	74.50	98.50	87.20	150.70	134.90
% de humedad	10.84	11.14	10.96	12.04	10.88	12.90
Densidad seca (gr/cc)	2.025	2.023	1.946	1.938	1.886	1.860

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
04/09/16	18:00	0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
05/09/16	18:00	24	4.00	0.040	0.0	5.00	0.050	0.0	6.00	0.060	0.1
06/09/16	18:00	48	8.00	0.080	0.1	11.00	0.110	0.1	15.00	0.150	0.1
07/09/16	18:00	72	14.00	0.140	0.1	25.00	0.250	0.2	27.00	0.270	0.2
08/09/16	18:00	96	20.00	0.200	0.2	32.00	0.320	0.3	43.00	0.430	0.4

PENETRACIÓN										
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°		
		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.		CARGA	CORREC.	
pulg	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		5	1.2		3	0.7		2	0.5	
0.050		13	3.0		9	2.1		7	1.6	
0.075		26	6.0		16	3.7		12	2.8	
0.100	70.3	29	6.7	9.56	20	4.6	6.68	17	3.9	4.65
0.150		40	9.2		34	7.8		20	4.6	
0.200	105.5	57	13.1	12.43	43	9.9	9.47	31	7.1	7.15
0.250		74	17.0		55	12.7		42	9.7	
0.300		82	18.9		64	14.7		55	12.7	
0.400		107	24.6		91	21.0		71	16.4	
0.500		132	30.4		106	24.4		85	19.6	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°60: Gráficas de CBR para suelo de estrato arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132)

TESIS: EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO

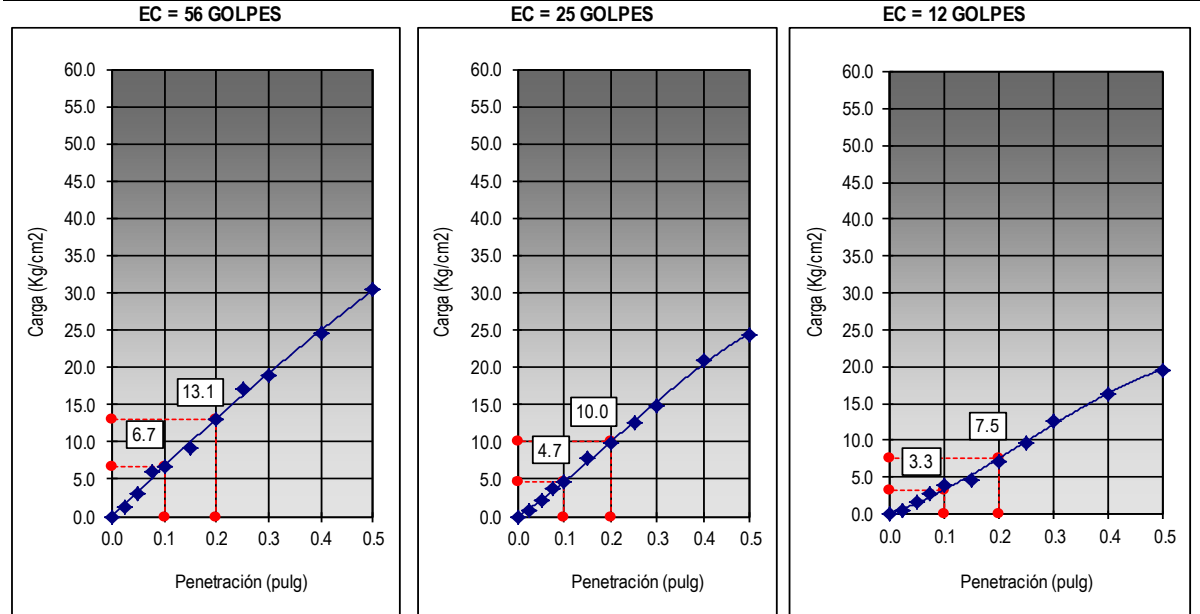
ENSAYO : RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MUESTRA : Suelo arenoso + 3% de polímero adhesivo natural

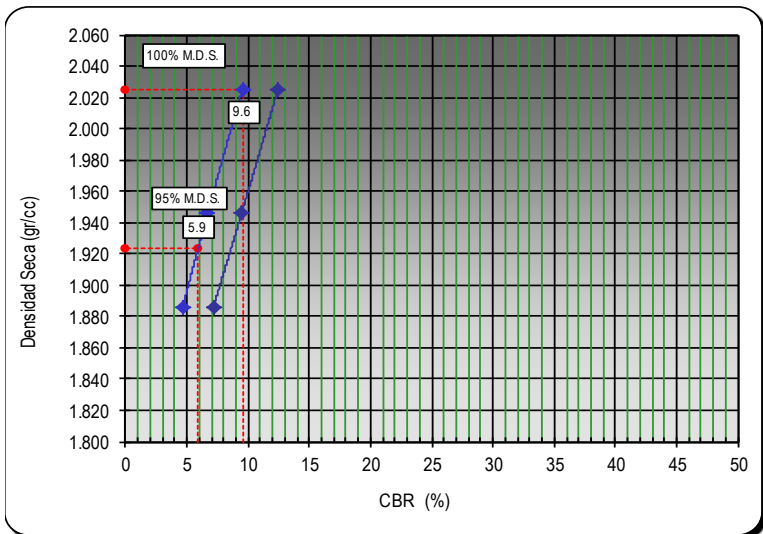
FECHA : jueves, 08 de septiembre de 2016

LUGAR : SC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L. Laboratorio de suelos y materiales

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



Carga (1^o) : 07Kg/cm² Carga (2^o) : 13Kg/cm² Carga (1^o) : 05Kg/cm² Carga (2^o) : 10Kg/cm² Carga (1^o) : 03Kg/cm² Carga (2^o) : 08Kg/cm²



Proctor / Densidad Natural / O.C.H.	
Máxima Dens. Seca (gr/cc)	2.025
95% de la M.D.S. (gr/cc)	1.924
Optimo Humedad (%)	10.90

N GOLPES	C.B.R. (0.1")	C.B.R. (0.2")	Densidad
56	9.6	12.4	2.025
25	6.7	9.5	1.946
12	4.6	7.1	1.886

RESULTADOS DE C.B.R.	
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	9.6
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	5.9

Fuente: Elaboración propia

3.6.6.3. ANÁLISIS DE LA PRUEBA

Del ensayo de CBR se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA N°79: CBR al 100% y 95%

		CBR al 100% de la M.D.S.	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	5.10	3.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	5.20	3.2
	+ 1% de polímero adhesivo natural	5.70	3.3
	+ 2% de polímero adhesivo natural	6.10	4.1
	+ 3% de polímero adhesivo natural	4.40	2.9
Suelo de estrato arenoso	Natural	1.80	1.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	13.30	7.5
	+ 1% de polímero adhesivo natural	22.00	14.5
	+ 2% de polímero adhesivo natural	25.80	16.0
	+ 3% de polímero adhesivo natural	9.60	5.9

Fuente: Elaboración propia

El suelo arcilloso posee un CBR de 3.0, va aumentando hasta la adición del polímero adhesivo natural en un 2%. En la adición al 3% de polímero adhesivo natural, el CBR baja a 4.4.

El suelo de estrato arenoso posee un CBR de 1.0, va aumentando hasta la adición del polímero adhesivo natural en un 2%. En la adición al 3% de polímero adhesivo natural, el CBR baja a 5.9 pero sigue siendo mayor al CBR del suelo natural.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ARCILLOSO

TABLA N°80: Granulometría de suelo arcilloso

CARACT. FÍSICAS - MECÁNICAS		
LIMITE LIQUIDO	:	30.9 %
LIMITE PLASTICO	:	19.6 %
INDICE PLASTICO	:	11.2 %
HUM. NATURAL	:	8.3 %
CLASF. AASHTO	:	A-6(4)
CLASF. SUCS	:	CL
M.D.S.	:	1.927
O.C.H.	:	10.20
CBR AL 100% M.D.S.	:	5.1
CBR AL 95% M.D.S.	:	3.0

Fuente: Elaboración propia

Según las categorías de sub rasante del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo arcilloso conformaría una sub rasante insuficiente debido a que presenta un CBR de 3.0%.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ARENOSO

TABLA N°81: Granulometría de suelo arenoso

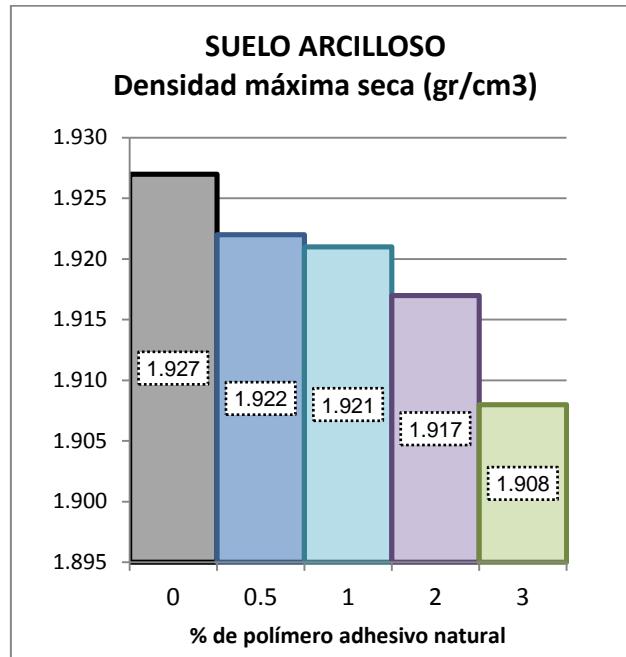
CARACT. FÍSICAS - MECÁNICAS		
LIMITE LIQUIDO	:	N.P. %
LIMITE PLASTICO	:	N.P. %
INDICE PLASTICO	:	N.P. %
HUM. NATURAL	:	6.0 %
CLASF. AASHTO	:	A-2-5(0)
CLASF. SUCS	:	SM
M.D.S.	:	2.027
O.C.H.	:	11.00
CBR AL 100% M.D.S.	:	1.8
CBR AL 95% M.D.S.	:	1.0

Fuente: Elaboración propia

Según las categorías de sub rasante del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo arenoso conformaría una sub rasante inadecuada debido a que presenta un CBR de 1.0%.

4.3. DENSIDAD MÁXIMA SECA Y HUMEDAD ÓPTIMA

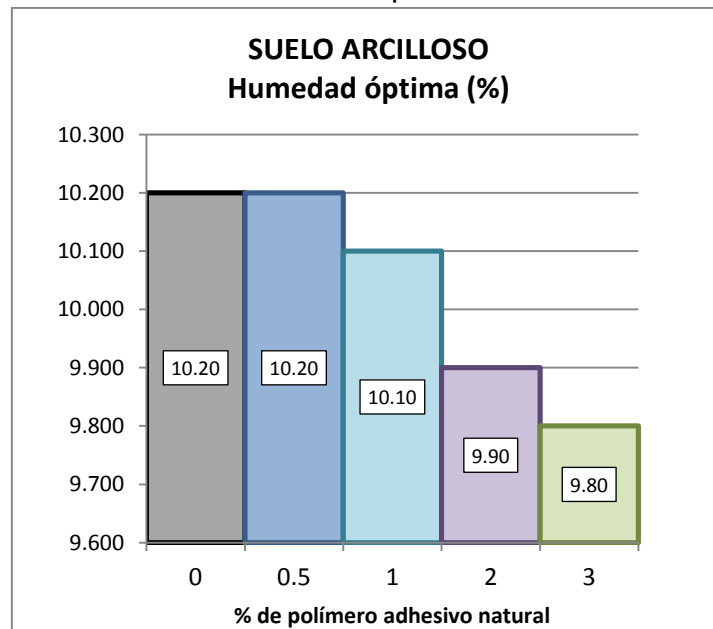
FIGURA N°61: Densidad máxima seca del suelo arcilloso



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se puede observar que al ir aumentando el porcentaje de adición de polímero adhesivo natural, la densidad máxima seca va disminuyendo.

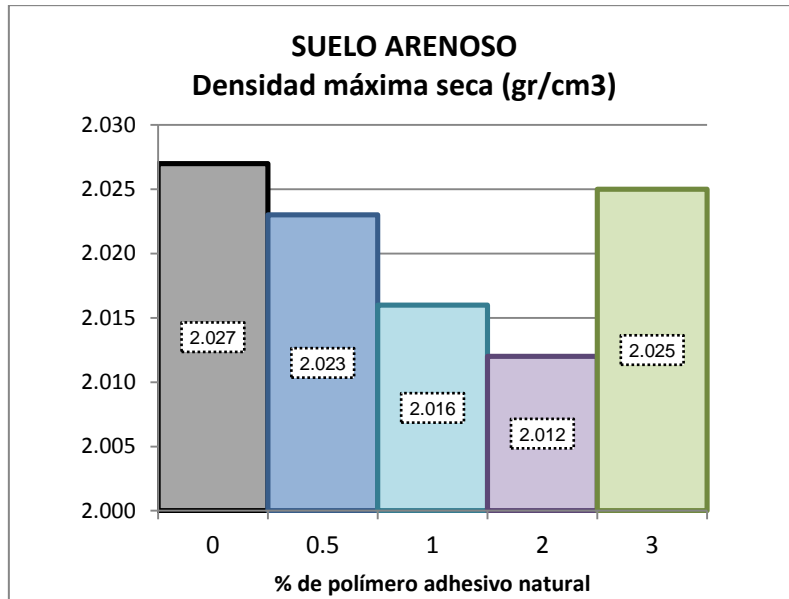
FIGURA N°62: Humedad óptima del suelo arcilloso



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico que la humedad óptima es inversamente proporcional al aumento del porcentaje de polímero adhesivo natural.

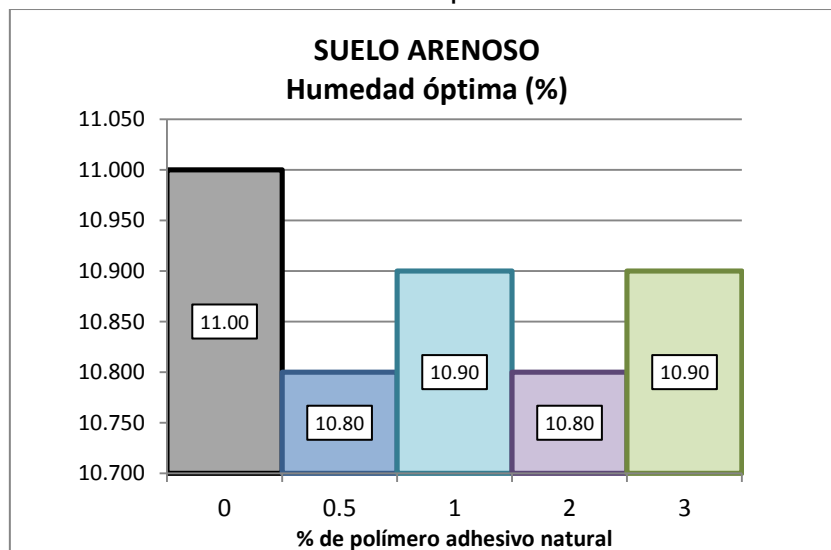
FIGURA N°63: Densidad máxima seca del suelo arenoso



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el suelo arcilloso, se puede observar en el gráfico que al ir aumentando el porcentaje de adición de polímero adhesivo natural, la densidad máxima seca va disminuyendo; exceptuando la última densidad que pertenece al 3% de adición.

FIGURA N°64: Humedad óptima del suelo arenoso



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico que la humedad óptima es muy variante y no tiene tendencia alguna.

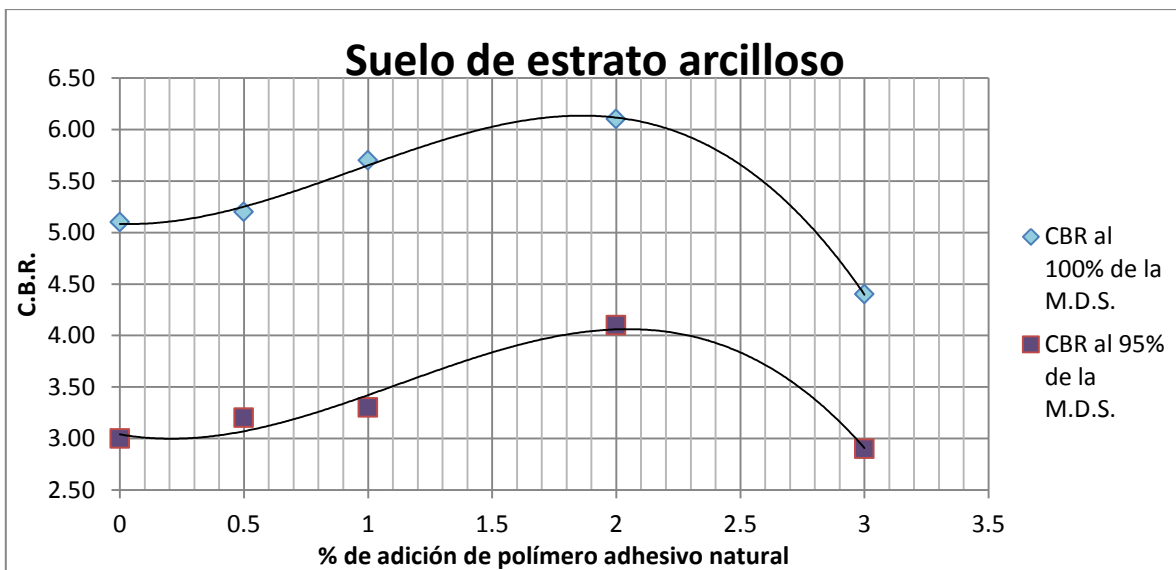
4.4. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CBR DE SUELOS NATURALES Y SUELOS CON ADICIÓN DE POLÍMERO ADHESIVO NATURAL.

TABLA N°82: Máxima densidad seca y CBR

		Máxima Densidad seca (gr/cm ³)	CBR al 100% de la M.D.S.	Máxima Densidad seca (gr/cm ³)	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.927	5.10	1.831	3.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo	1.922	5.20	1.826	3.2
	+ 1% de polímero adhesivo natural	1.921	5.70	1.825	3.3
	+ 2% de polímero adhesivo natural	1.917	6.10	1.822	4.1
	+ 3% de polímero adhesivo natural	1.908	4.40	1.812	2.9
Suelo de estrato arenoso	Natural	2.027	1.80	1.926	1.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo	2.023	13.30	1.922	7.5
	+ 1% de polímero adhesivo natural	2.016	22.00	1.915	14.5
	+ 2% de polímero adhesivo natural	2.012	25.80	1.912	16.0
	+ 3% de polímero adhesivo natural	2.025	9.60	1.914	5.9

Fuente: Elaboración propia

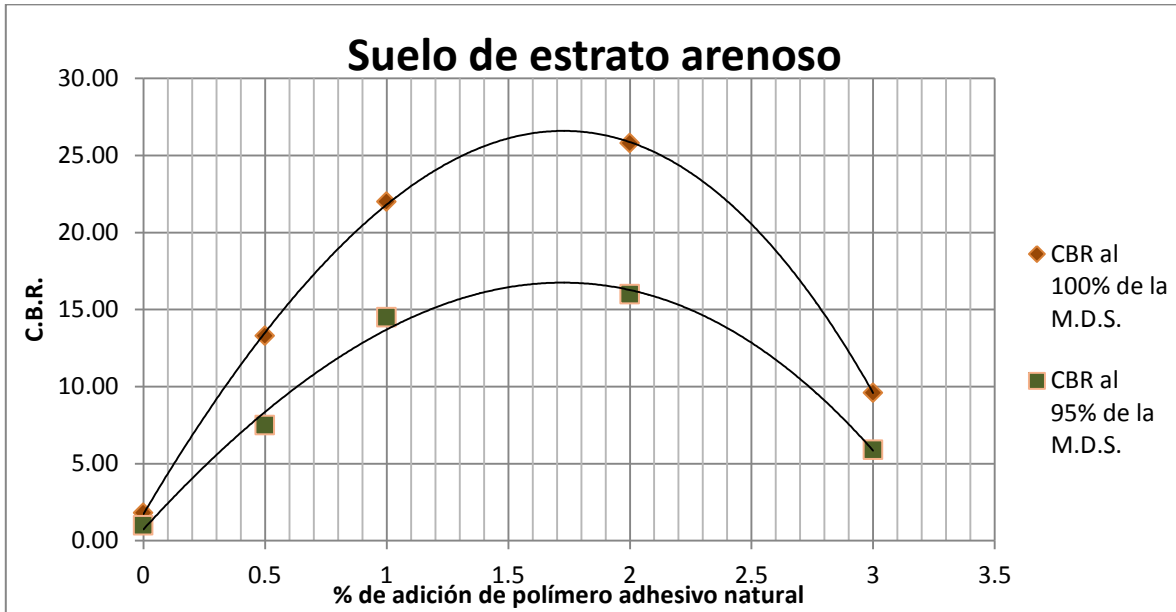
FIGURA N°65: CBR del suelo de estrato arcilloso



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el CBR del estrato arcilloso va aumentando a medida que el porcentaje de polímero adhesivo natural incrementa, pero disminuye a partir de la adición del 2% de polímero adhesivo natural. El incremento o decrecimiento no varía mucho entre dato y dato.

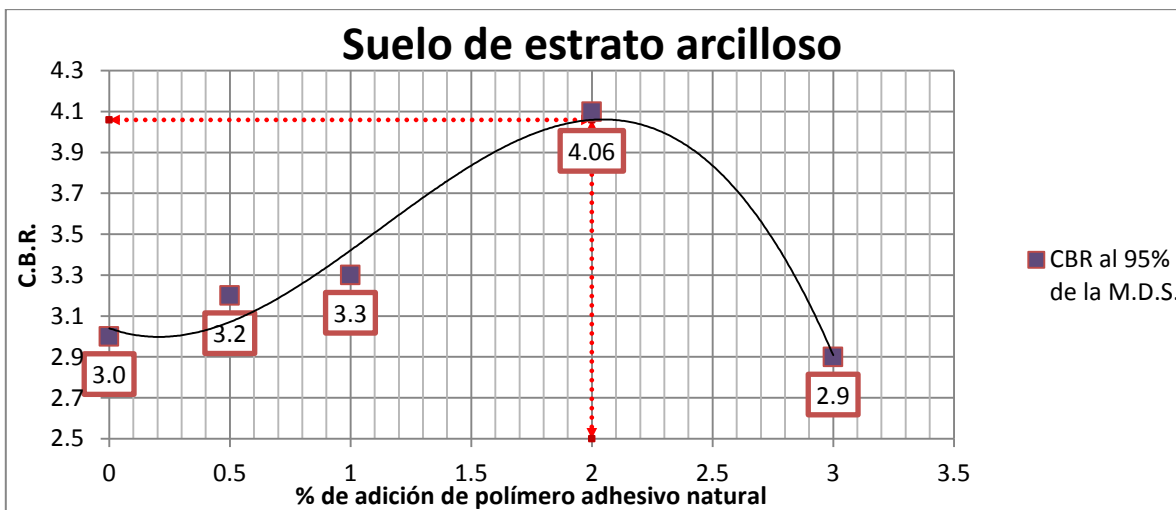
FIGURA N°66: CBR del suelo de estrato arenoso



Fuente: Elaboración propia

El CBR del suelo de estrato arenoso va incrementando notablemente hasta la adición de 1.7% de polímero adhesivo natural, a partir del cual disminuye.

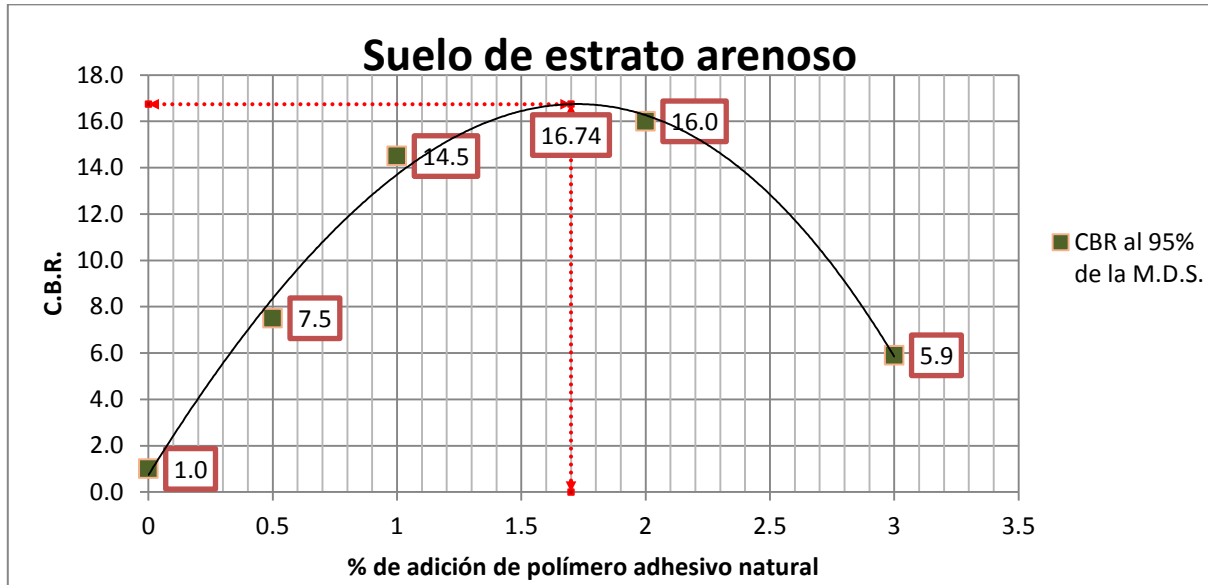
FIGURA N°67: CBR máximo del suelo de estrato arcilloso



Fuente: Elaboración propia

El mayor CBR del suelo de estrato arcilloso es 4.06, el cual se obtiene al adicionar un 2% de polímero adhesivo natural. Aún con el CBR máximo, el suelo sigue siendo una subrasante pobre.

FIGURA N°68: CBR máximo del suelo de estrato arenoso



Fuente: Elaboración propia

El mayor valor de CBR del suelo de estrato arenoso es 16.74, el cual se obtiene al adicionar un 1.7% de polímero adhesivo natural. Este valor de CBR hace del suelo una subrasante muy buena.

TABLA N°83: CBR de suelo de estrato arcilloso y arenoso con descripción

% POLÍMERO ADHESIVO NATURAL	Suelo arcilloso		Suelo arenoso	
	CBR	CATEGORÍA DE SUBRASANTE	CBR	CATEGORÍA DE SUBRASANTE
0	3.04	insuficiente	0.73	inadecuada
0.1	3.01	insuficiente	2.42	inadecuada
0.2	3.00	insuficiente	4.03	insuficiente
0.3	3.01	insuficiente	5.56	insuficiente
0.4	3.03	insuficiente	7.00	regular
0.5	3.07	insuficiente	8.35	regular
0.6	3.12	insuficiente	9.62	regular
0.7	3.19	insuficiente	10.78	buena
0.8	3.26	insuficiente	11.86	buena
0.9	3.34	insuficiente	12.83	buena
1	3.42	insuficiente	13.70	buena
1.1	3.51	insuficiente	14.47	buena
1.2	3.59	insuficiente	15.13	buena
1.3	3.68	insuficiente	15.68	buena
1.4	3.76	insuficiente	16.12	buena
1.5	3.84	insuficiente	16.44	buena
1.6	3.90	insuficiente	16.65	buena
1.7	3.96	insuficiente	16.74	buena
1.8	4.01	insuficiente	16.71	buena
1.9	4.04	insuficiente	16.55	buena
2	4.06	insuficiente	16.27	buena
2.1	4.06	insuficiente	15.85	buena
2.2	4.04	insuficiente	15.30	buena
2.3	4.00	insuficiente	14.62	buena
2.4	3.93	insuficiente	13.80	buena
2.5	3.84	insuficiente	12.84	buena
2.6	3.71	insuficiente	11.74	buena
2.7	3.56	insuficiente	10.49	regular
2.8	3.38	insuficiente	9.09	regular
2.9	3.16	insuficiente	7.55	regular
3	2.91	inadecuada	5.85	regular

Fuente: Elaboración propia



Según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (vversión abril, 2014):

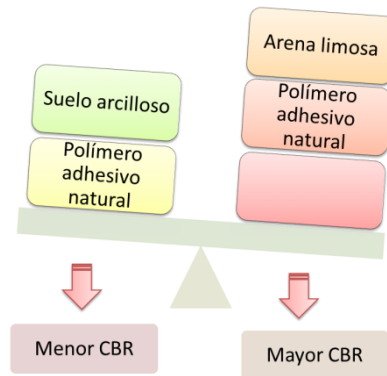
- La subrasante es de calidad insuficiente con la adición de polímero adhesivo natural de 0.3%.
- La subrasante es de calidad regular con la adición de polímero adhesivo natural que varía de 0.4%-0.6%.
- La subrasante es buena con la adición de 0.7%-1.7%.
- Luego del 1.7% la subrasante sigue siendo buena pero el porcentaje de aditivo será mayor lo cual no sería económico.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

- ¿Con qué tipo de suelo actúa mejor el polímero adhesivo natural como aglomerante?

De acuerdo con la tesis efectuada encontramos que el polímero adhesivo natural actúa como un aglomerante natural en su estado líquido por lo tanto el suelo de estrato arenoso es el que mejora su capacidad de soporte ya que este no posee cohesión entre sus partículas.

FIGURA N°__: CBR de suelos

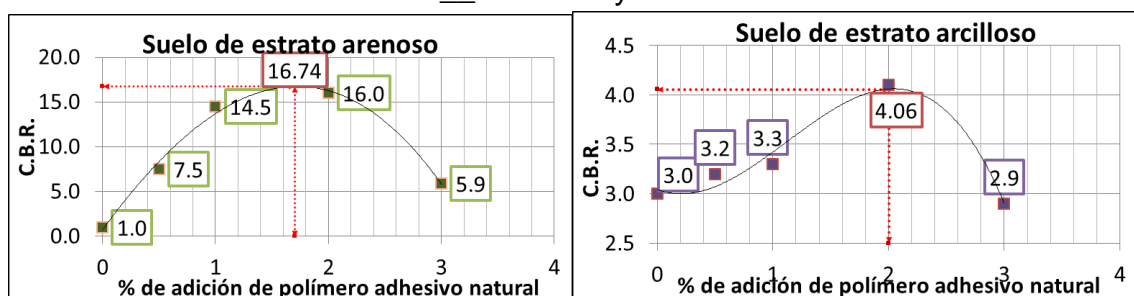


Fuente: Elaboración propia

- ¿El estrato arenoso aumenta su capacidad de soporte con respecto al estrato arcilloso?

El estrato arenoso al ser adicionado en porcentajes de 0.5%,1%, 2% con polímero adhesivo natural aumenta sus propiedades de compactación así como también su capacidad de soporte con respecto a un suelo de estrato arcilloso que al ser adicionado con polímero adhesivo natural en 0.5%,1% y 2% disminuye con respecto al arenoso.

FIGURA N°__: CBR mayor de los estratos



Fuente: Elaboración propia



- **¿Los porcentajes de polímero adhesivo natural fueron determinados de acuerdo a que parámetros?**

Los parámetros utilizados en la presente tesis con respecto a los porcentajes de polímero adhesivo natural fueron utilizados de acuerdo al porcentaje en peso del estrato de suelo usado para los ensayos tanto de proctor como CBR en la mayoría de muestras que se usaron el peso fue igual al de 6 kg de muestra.

- **¿La densidad máxima y el contenido de humedad de los estratos arcillosos y arenosos varían con respecto a la adición de polímero adhesivo natural?**

La densidad máxima de los estratos arcillosos y arenosos naturales disminuyen con respecto a la densidad máxima de los estratos arcillosos y arenosos adicionados con 0.5%, 1%, 2% y 3% de polímero adhesivo natural. Se observó que el contenido de humedad en el estrato arcilloso disminuye progresivamente, mientras que en el estrato arenoso se observa una dispersión de resultados iguales para los porcentajes de 0.5% y 2%, teniendo mayor contenido de humedad los porcentajes de 1% y 3% sin superar al natural.



GLOSARIO

- ASTM: American Society for Testing and Materials, "Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.
- NTP: Norma Técnica Peruana
- Kg: Kilogramo.
- Naturaleza: Adjetivo para definir la formación de un elemento en el medio ambiente.
- P.U.: Peso unitario (peso entre volumen)
- Procesos: conjunto de pasos para realizar un trabajo.
- Resistencia: característica de los materiales para someter esfuerzos.
- Tecnología: es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de las personas.
- Volumen: El volumen es una magnitud escalar definida como el espacio ocupado por un objeto.
- Materiales de construcción: Es una materia prima o con más frecuencia un producto manufacturado.
- Deformímetro: Aparato que mide la deformación en milímetros de un suelo cohesivo.
- Aglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos de tipo exclusivamente físico.
- CBR.- El índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min., para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.
- Mejoramiento: Ejecución de las actividades constructivas para dotar de mejores condiciones físicas y operativas de una carretera.



- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials, es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos.
- SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el estudio de las características físicas de las muestras de suelo, el estudio de densidad máxima y posteriormente la comparación mediante los ensayos de compresión (CBR) llegamos a las siguientes conclusiones.

CONCLUSIÓN N° 01:

Se demuestra parcialmente la hipótesis general que indica: “que la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.”, debido a que la densidad máxima seca de suelo adicionado con polímero adhesivo natural es menor que la del suelo natural. Además que el CBR del suelo arcilloso adicionado con el 3% de polímero adhesivo natural es menor que el CBR de suelo natural.

CONCLUSIÓN N° 02:

Se demuestra parcialmente la sub hipótesis que indica: “que la capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco”, por los resultados obtenidos los valores de la capacidad de soporte del suelo adicionado con 0.5% de polímero adhesivo natural son mayores a los del suelo natural, pero las densidades máximas son menores que las densidades patrón.

TABLA N°84: Datos de suelo natural y suelo + 0.5% de polímero adhesivo natural

		Máxima Densidad seca (gr/cm³)	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.831	3.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	1.826	3.2
Suelo de estrato arenoso	Natural	1.926	1.0
	+ 0.5% de polímero adhesivo natural	1.922	7.5

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN N° 03:

Se demuestra parcialmente la sub hipótesis que indica: “que la capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 1% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco”, los resultados obtenidos los valores de la capacidad de soporte del suelo adicionado con 1% de polímero adhesivo natural son mayores a los del suelo natural, pero las densidades máximas son menores que las densidades patrón.

TABLA N°85: Datos de suelo natural y suelo + 1% de polímero adhesivo natural

		Máxima Densidad seca (gr/cm³)	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.831	3.0
	+ 1% de polímero adhesivo natural	1.825	3.3
Suelo de estrato arenoso	Natural	1.926	1.0
	+ 1% de polímero adhesivo natural	1.915	14.5

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN N° 04:

Se demuestra parcialmente la sub hipótesis que indica: “que la capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 2% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco”, debido a los valores obtenidos de los ensayos, la capacidad de soporte del suelo adicionado con 2% de polímero adhesivo natural son mayores a los del suelo natural, pero las densidades máximas son menores que las densidades patrón.

TABLA N°86: Datos de suelo natural y suelo + 2% de polímero adhesivo natural

		Máxima Densidad seca (gr/cm³)	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.831	3.0
	+ 2% de polímero adhesivo natural	1.822	4.1
Suelo de estrato arenoso	Natural	1.926	1.0
	+ 2% de polímero adhesivo natural	1.912	16.0

Fuente: Elaboración propia



CONCLUSIÓN N° 05:

Se demuestra parcialmente la sub hipótesis que indica: “que la capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco”, debido a los resultados obtenidos los valores de la capacidad de soporte del suelo adicionado con 3% de polímero adhesivo natural son mayores a los del suelo natural, pero las densidades máximas son menores que las densidades patrón.

TABLA N°87: Datos de suelo natural y suelo + 3% de polímero adhesivo natural

		Máxima Densidad seca (gr/cm³)	CBR al 95% de la M.D.S.
Suelo de estrato arcilloso	Natural	1.831	3.0
	+ 3% de polímero adhesivo natural	1.812	2.9
Suelo de estrato arenoso	Natural	1.926	1.0
	+ 3% de polímero adhesivo natural	1.914	5.9

Fuente: Elaboración propia



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES 01

Del presente estudio realizado, se recomienda no emplear en la compactación de suelo para sub rasante el aditivo en porcentajes de 3% en peso del suelo arcilloso o arenoso, por la disminución de la resistencia a la compresión respecto a otros porcentajes menores.

RECOMENDACIONES 02

Se sugiere el uso del polímero adhesivo natural en suelos arenosos o no cohesivos, debido a que el aditivo funciona como aglomerante. Pudiéndose utilizar como material mejorado para sub rasante.

RECOMENDACIONES 03

Del estudio realizado se recomienda utilizar como porcentaje en peso máximo 1.7% de polímero adhesivo natural o uno inferior según sea el tipo de estrato arenoso para sub rasante de pavimento rígido para obtener una mejor compactación.

RECOMENDACIONES 04

Se recomienda realizar un análisis de inspección visual de propiedades físicas del polímero adhesivo natural, para observar que tenga una buena disolución y obtener una buena resistencia a la compresión.

RECOMENDACIONES 05

Realizar, evaluar y profundizar la investigación, con el fin de obtener los estudios complementarios y resultados óptimos para la reutilización de este material inerte con más confiabilidad, tales como resistencia a la fatiga, resistencia al intemperismo, resistencia al desgaste, entre otros.



RECOMENDACIONES 06

Realizar un estudio técnico, económico y social, con el fin de comparar la producción del polímero adhesivo natural, versus la producción de otros métodos de mejoramiento de suelos para sub rasante tradicionales.

RECOMENDACIONES 07

Se recomienda que los organismos pertinentes establezcan normas para sub rasante de pavimentos para calles locales, por las cuales no son muy transitadas.

**REFERENCIAS**

- Productos de Conservacion y Restauracion. (2010). *Agar Agar Productos de Conservacion y Restauracion*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de Agar Agar Productos de Conservacion y Restauracion: http://www.agaragar.net/Galerias/archivos/catalogo_agar.pdf
- AASHTO. (1998). *Diseño de Pavimentos Rigidos. Guide of Paviment Structures Part II - Rigid Pavement Desing & Rigid Paviment*. Ilinons.
- Alva Hurtado, J., Ugaz Palomino, R., & Tupia Córdova, C. (2000). Ensayos de Estabilización de Suelos con el Aditivo RBI-81-Puno. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Anguas, P. G. (2002). *MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS*. Sanfandila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Lanoratorio de Suelos en Ingenieria Civil*. México.
- Braja M Das. (1983). *Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning.
- Choque Godoy, M. M. (2006). Efecto de la Cal Hidratada sobre Algunos Parámetros de Resistencia Mecánica en Suelos Arenosos para la Estabilización de Suelos en Construcciones Viales Tramo Payrumani - Cebada Mayu - Bolivia. Universidad Técnica de Oruro.
- Conocimiento con Todos y Para Todos. (14 de Diciembre de 2010). *EcuRed*. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de EcuRed: http://www.ecured.cu/Cola_de_carpinter%C3%ADa
- D´Ancona, C. (1998). *Metodologia cuantitativa. Estrategia y tecnicas de iinvestigacion social*. Madrid.
- Di Rado R., H., Fabre E., V., & Miño, F. (2000). Estabilización de Suelos con Tanimon en la ciudad de Chaco - Argentina. Universidad Nacional de Nordeste.
- Diccionario de psicología científica y filosófica. (s.f.). *Explicación de los principales conceptos, tesis y escuelas en el área de la Psicología*. Recuperado el 2015



- Ecured enciclopedia Cubana. (12 de Agosto de 2009). *pavimento rigido*. Obtenido de Ecured : http://www.ecured.cu/Pavimento_r%C3%ADgido
- FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos. (2015). *Estudio de Suelos para Pavimentaciones*. Cusco.
- Gamica Anguas, P. (2002). *Mecánica de Materiales para Pavimentos*. Sanfadila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Hobby Carpinteria. (10 de Noviembre de 2015). *Hobby Carpinteria*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de Hobby Carpinteria: <http://hobbycarpinteria.blogspot.pe/2015/11/tema-pegamento-o-cola-de-carpintero.html>
- Iturbe Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Investigación Económica de Centroamérica.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *MECÁNICA DE SUELOS. TOMO 1 FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS*. MÉXICO: EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.
- M., D. B. (1983). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*.
- Márquez, J. J. (2006). *Mecánica de Suelos y Estudios Geotécnicos en Obras de Ingeniería*.
- Menéndez Acurio , J. R. (2012). *Ingeniería de Pavimentos. Materiales, Diseño y Conservación*. Lima, Perú: Departamento de Imprenta de ICG.
- Merino & Ramirez., M. A. (2010). *Pruebas con un Producto Enzimatico como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras*. PIURA.
- Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. (2011). *Manual de Carreteras del Paraguay. Volumen I Guia de diseño estructural para pavimentos y banquetas*. Paraguay: Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras. Suelos, "Geología, Geotecnia y Pavimentos" Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima.



Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, "Geología, Geotecnia y Pavimentos" Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima.

Palomino, R. M., Tupia Córdova, C., & Alva Hurtado, J. (2000). Ensayos de Estabilización de Suelos con el Aditivo RBI-81 -Puno. Universidad Nacional de Ingeniería.

Ravines Merino, M. A. (23 de Agosto de 2010). Pruebas con un producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras - Piura. Piura: Universidad de Piura.

Sáenz, F. C. (2001). *La Eestabilidad Estructural del Suelo*. Bogotá.

Sampieri, R. H. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

Unidad de Investigación de la Universidad de Costa Rica. (2008). *Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas*. San Jose, Costa Rica.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO



Se tomaron las medidas de la calicata como son:

- Largo: 1.40 m
- Ancho: 1.20 m
- Profundidad: 1.50

Se tomaron las medidas aproximadas en la calicata de cada estrato encontrado e identificado visualmente con los siguientes:

- 0.00 - 0.15 m material de préstamo.
- 0.15 - 0.70 m arcilla inorgánica.
- 0.70 - 1.50 m arena fina limosa.



Se tomaron las muestras de la calicata en bolsas para mantener la humedad natural del suelo, se separaron por estratos para la evaluación del suelo.

Después de tomar las muestras de la calicata y puestas en bolsas se procedió a su estudio en laboratorio como es la clasificación de suelo con el ensayo de granulométrica por tamizado.



Con los suelos ya identificados según su clasificación se mezcla con agua en porcentajes adecuados para obtener una buena compactación.

Se procede a realizar el ensayo de proctor modificado para cada estrato y así determinar el contenido de humedad óptimo.





Se procede a pesar cada uno de los moldes de proctor contenidos con el suelo compactado para obtener datos para luego ser procesados.

Determinado el contenido de humedad de cata tipo de suelo proseguimos con el ensayo de CBR para lo cual necesitamos agregar el polímero adhesivo natural que se encuentra en forma sólida pero será utilizada en estado líquido.



Para el ensayo de CBR mezclamos el suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje en peso de suelo con el contenido de humedad óptimo.

Para cada ensayo de CBR mezclamos el suelo adicionado con los diferentes porcentajes como son (0.5, 1, 2, 3)% respectivamente.



Ya compactada cada muestra se pasa a sumergir en agua por 96 horas para medir la expansión.


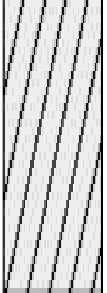
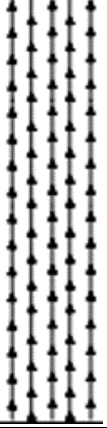
La muestra después de sumergida con el aditivo para ser pesada y luego para someterla a la máquina de compresión.



ESTRATIGRAFÍA
Estratigrafía de calicata N°1 – Calle N°7

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC
REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES		
EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON TESIS: : POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO		
UBICACIÓN : SECTOR: URB. SAN JUDAS CHICO DISTRITO: WANCHAQ DEPARTAMENTO: CUSCO		
FECHA : 07 de diciembre del 2015		
RESPONSABLES : Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca		

TECNICA DE INVESTIGACION :	CALICATA N° 1	UBICACIÓN:	URB. SAN JUDAS CHICO CALLE N°7
COTAS REFERENCIA :	NIVEL DE TERRENO	DIMENSIONES CALICATA:	LARGO: 1.40m ANCHO: 1.20m
NIVEL :	3313 msnm	PROFUNDIDAD FINAL :	1.50 m
		NIVEL FREÁTICO :	No se encontró

PROFUND. METROS	COTA	ESTRATO	SIMBILO GRAFICO	CLASIFIC. SUCS	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTREO	
						N°	PROF.
0.00	3313.00	1		GC	Material de préstamo		
0.15	3312.85						
0.50	3312.30	2		CL	Arcilla inorganica de baja a media plasticidad de color oscuro por partes de color naranja oscuro consistencia inicial dura.	1	0.15 m - 0.70 m
0.70							
1.00							
1.50	3311.50	3		SM	Arena fina limosa con grava en estado compactado color café oscuro.	1	0.70 m - 1.50 m
2.00							

Fuente: Elaboración propia



Estratigrafía de calicata N°2 – Calle N°6-A

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES		
TESIS:	EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCO	
UBICACIÓN:	SECTOR: URB. SAN JUDAS CHICO DISTRITO: WANCHAQ DEPARTAMENTO: CUSCO	
FECHA:	07 de diciembre del 2015	
RESPONSABLES:	Rocío Milagros Romero Romero / Cynthia Sañac Vilca	

TECNICA DE INVESTIGACION :	CALICATA N° 2	UBICACIÓN:	URB. SAN JUDAS CHICO CALLE N°6-A
COTAS REFERENCIA :	NIVEL DE TERRENO	DIMENSIONES CALICATA:	LARGO: 1.40m ANCHO: 1.20m
NIVEL :	3313	PROFUNDIDAD FINAL :	1.50 m
		NIVEL FREÁTICO :	NO ENCONTRADO

PROFUND. METROS	COTA	ESTRATO	SIMBILO GRAFICO	CLASIFIC. SUCS	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTREO	
						N°	PROF.
0.00	3313.00						
0.15	3312.85	1		GC	Material de préstamo		
0.50		2		CL	Arcilla inorganica de baja a media plasticidad de color oscuro por partes de color naranja oscuro consistencia inicial dura.	2	0.15 m - 0.80 m
0.80	3312.20						
1.00		3		SM	Arena fina limosa con grava en estado compactado color café oscuro.	2	0.80 m - 1.50 m
1.50	3311.50						
2.00							

Fuente: Elaboración propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN COMPARATIVA MEDIANTE LA CAPACIDAD DE SOPORTE Y DENSIDAD MÁXIMA DE UN SUELO ADICIONADO CON POLÍMERO ADHESIVO NATURAL EN PORCENTAJES DE 0.5%, 1%, 2% Y 3% FRENTE A UN SUELO NATURAL PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LA URB. SAN JUDAS CHICO – CUSCOCUSCO				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADOR
¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?	Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	Capacidad de soporte	Número de CBR
			Densidad máxima	gr/cm ³
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICOS	VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADOR
¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 0.5% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?	Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 0.5% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante y base de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	Suelo de estrato arcilloso	Peso (Kg)
¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 1% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?	Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 1% frente a un suelo natural para sub rasante y base de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 1% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.	Suelo de estrato arenoso	Peso (Kg)



<p>¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 2% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?</p>	<p>Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 2% frente a un suelo natural para sub rasante y base de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.</p>	<p>La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 2% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.</p>	<p>Polímero adhesivo natural</p>	<p>Porcentaje en peso del suelo (%)</p>
<p>¿Cuál será la evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco?</p>	<p>Evaluar comparativamente mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentaje de 3% frente a un suelo natural para sub rasante y base de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.</p>	<p>La capacidad de soporte y la densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 3% son superiores frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico – Cusco.</p>		

Fuente: Elaboración propia

UBICACIÓN DE CALICATAS



Fuente: Google Earth

	Calicata 1	Calicata 2
Este:	180145.52	180175.77
Norte:	8502051.71	8502127.94
Elevación:	3313	3313

Fuente: Elaboración propia