

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL  
EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN”**

## **TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Palli Apaza Edwin Ever**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“GUÍA BÁSICA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL EN  
CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN  
ROMÁN”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CIVIL EDWIN  
EVER PALLI APAZA, A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO CIVIL**

APROBADO POR:

PRESIDENTE

ING. NICOLÁS LUZA FLORES

PRIMER MIEMBRO

ING. GUILLERMO NÉSTOR FERNÁNDEZ SILA

SEGUNDO MIEMBRO

ING. GINO FRANK LAQUE CÓRDOVA

DIRECTOR

ING. JOSÉ LUIS CUTIPA ARAPA

ASESOR

ING. HERSON DUBERLY PARI CUSI

Área: Geotecnia

Tema: Tecnología en Tratamiento de Suelos

## DEDICATORIA

*A mis padres Félix y Francisca, por su cariño, sus enseñanzas y consejos, por guiarme por el buen camino y hacer de mí una persona de bien.*

*A mis hermanos Vilma, Yesica, Beatriz y Stefhanie; porque su bienestar y su felicidad me impulsan a seguir adelante y ser mejor cada día.*

**Ever**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por mostrarnos día a día que con humildad, paciencia y esfuerzo todo es posible.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional, su comprensión y su fe en mí, a ellos mi gratitud eterna por estar siempre a mi lado.

A los ingenieros miembros del comité de jurados, Ing. Nicolás Luza Flores, Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila e Ing. Gino Frank Laque Córdova, por sus observaciones, sugerencias, consejos y su guía para la realización de la presente investigación.

Al director de tesis, Ing. José Luis Cutipa Arapa y al asesor de tesis Ing. Herson Pari Cusi por su dirección en el proyecto de investigación.

A toda la familia parte de la Facultad de Ingeniería civil y arquitectura, por su apoyo y colaboración en la ejecución de la presente investigación.

***A todos, muchas gracias...***

## INDICE

INDICE	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	9
INDICE DE FIGURAS .....	10
<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>15</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.2.1. PREGUNTA GENERAL.....	17
1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS.....	17
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.5. HIPÓTESIS.....	20
1.6. LIMITACIONES .....	21
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.2.1. SUELO.....	26
2.2.2. CAL .....	44
2.2.3. ESTABILIZACION DE SUELOS.....	50
2.2.4. CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO (AFIRMADO) .....	65
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	69
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
3.1. TRABAJO EXPERIMENTAL .....	72
3.1.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	72
3.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	73
3.1.2.1. Población .....	73
3.1.2.2. Muestra .....	73
3.2. SISTEMA DE VARIABLES.....	74
3.2.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	74
3.2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	74
3.3. MATERIAL EXPERIMENTAL .....	75
3.3.1. MATERIALES .....	75
3.3.2. MÉTODOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS .....	78
a. TRABAJOS DE CAMPO.....	79
b. TRABAJOS DE LABORATORIO.....	81
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>101</b>
4.1. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS .....	102
4.1.1. CONDICIONES INICIALES DE LAS CANTERAS.....	102

4.1.1.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS .....	102
4.1.1.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO .....	102
4.1.1.1.2. LIMITES DE CONSISTENCIA .....	104
4.1.1.1.3. PROCTOR MODIFICADO .....	105
4.1.1.1.4. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) .....	105
4.1.1.1.5. EXPANSION DE SUELOS .....	107
4.2. ESTABILIZACION DE LAS CANTERAS CON CAL .....	107
4.2.1. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA .....	107
4.2.1.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	110
4.2.2. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO .....	111
4.2.3. ENSAYO DE CBR .....	113
4.2.3.1. RESULTADO DE LA CANTERA CHULLUNQUIANI .....	113
4.2.3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA CANTERA-CHULLUNQUIANI .....	115
4.2.3.3. RESULTADO DE LA CANTERA TAPARACHI .....	116
4.2.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA CANTERA-TAPARACHI .....	117
4.3. TRATAMIENTO DE DATOS Y DISEÑO ESTADISTICO .....	118
4.3.1. CORRELACIONES PARA LA CANTERA CHULLUNQUIANI .....	118
4.3.2. CORRELACIONES PARA LA CANTERA TAPARACHI .....	120
4.4. PRUEBA DE HIPOTESIS .....	122
4.4.1. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CORRELACION .....	122
4.4.2. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CANTERA CHULLUNQUIANI .....	123
4.4.2.1. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION .....	123
4.4.2.2. VARIABLE INDICE DE PLASTICIDAD. ....	125
4.4.2.3. VARIABLE EXPANSION A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION. ....	127
4.4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CANTERA TAPARACHI .....	129
4.4.3.1. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION .....	129
4.4.3.2. VARIABLE INDICE DE PLASTICIDAD. ....	131
4.4.3.3. VARIABLE EXPANSION A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION. ....	133
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>135</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	136
5.2. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS .....	137
<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>138</b>
6.1. BIBLIOGRAFIA .....	139
<b>CAPITULO VII. ANEXOS .....</b>	<b>141</b>
7.1. PANEL FOTOGRAFICO .....	142
7.2. COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON .....	144
7.3. FICHA DE INVENTARIO DE CANTERAS .....	146
7.4. CERTIFICADOS DE LABORATORIO .....	148
7.5. ENSAYOS Y FICHAS DE OBSERVACION DE SUELO EN LABORATORIO .....	154
7.6. GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL .....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Porcentajes y longitudes del tipo de superficie de la red vial .....	18
Tabla 2	Sistema de Clasificación AASHTO.....	34
Tabla 3	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos .....	40
Tabla 4	Valores de Carga Unitaria .....	43
Tabla 5	Clasificación de carreteras según su función .....	65
Tabla 6	Tipo y Afirmado .....	68
Tabla 7	Ensayos y Frecuencias .....	69
Tabla 8	Cantidad de muestra por cantera.....	73
Tabla 9	Operacionalización de variables .....	74
Tabla 10	Densidad de Suelo Humedo Proctor.....	93
Tabla 11	Densidad de Suelo Seco Proctor .....	94
Tabla 12	Resumen Máxima Densidad seca y Humedad Óptima.....	95
Tabla 13	Densidad del Suelo Humedo CBR.....	95
Tabla 14	Densidad de Suelo Seco CBR.....	95
Tabla 15	Cálculo de Expansión CBR.....	96
Tabla 16	Cálculo del CBR del Suelo.....	97
Tabla 17	Resultados del Ensayo de PH .....	100
Tabla 18	Resumen de los límites de consistencia-Cantera Chullunquiani .....	104
Tabla 19	Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Chullunquiani con la EG-2013. ....	104
Tabla 20	Resumen de los límites de consistencia-Cantera Taparachi.....	104
Tabla 21	Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Taparachi con la EG-2013.....	105
Tabla 22	Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera- Chullunquiani.....	105
Tabla 23	Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera- Taparachi.....	105
Tabla 24	Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera- Chullunquiani .....	105
Tabla 25	Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Chullunquiani con la EG-2013. ....	106
Tabla 26	Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera- Taparachi .....	106
Tabla 27	Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Taparachi con la EG-2013.....	107
Tabla 28	Expansión del Suelo Cantera- Chullunquiani.....	107
TABLA 29	Expansión del Suelo Cantera- Taparachi.....	107
Tabla 30	Comparación del Índice de Plasticidad del suelo de la cantera con la EG-2013. ....	107
Tabla 31	Comparación del Índice de Plasticidad del suelo de la cantera Taparachi con la EG-2013.....	108

Tabla 32 Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.....	111
Tabla 33 Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.....	111
Tabla 34 Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 100% de la Máxima Densidad Seca.....	113
TABLA 35 Expansion del suelo expresado en % a 12, 25 y 56 golpes para 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de cal .....	114
Tabla 36: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Taparachi sin cal y con cal al 100% de la Máxima Densidad Seca.....	116
TABLA 37: Expansion del suelo expresado en % a 12, 25 y 56 golpes para 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de cal .....	117
Tabla 38: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiani .....	124
Tabla 39 Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del Índice de Plasticidad-Cantera Chullunquiani .....	126
Tabla 40: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiani .....	128
Tabla 41: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Taparachi.....	130
Tabla 42 Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del Índice de Plasticidad-Cantera Taparachi .....	132
Tabla 43: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiani .....	134



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cantera Chullunquiari.....	77
Ilustración 2 Cantera Taparachi.....	78
Ilustración 3 Ubicacion de Calicatas en cantera 01 .....	80
Ilustración 4 Ubicacion de Calicatas en la cantera 02.....	80
Ilustración 5 Exploracion de Cantera 01 .....	81
Ilustración 6 Exploracion de la cantera 02.....	81
Ilustración 7 Contenido de Humedad .....	83
Ilustración 8 Procedimiento Experimental Granulometria.....	84
Ilustración 9 Procedimiento Experimental Limite Liquido.....	86
Ilustración 10 Pocedimiento Experimental Limite Liquido (Cuchara de Casagrande).....	86
Ilustración 11 Procedimiento Experimental Limite Plastico.....	87
Ilustración 12 Procedimiento Experimental Proctor .....	88
Ilustración 13 Procedimiento Experimental Proctor (Compactado).....	89
Ilustración 14 Procedimiento Experimental CBR (Compactado) .....	91
Ilustración 15 Procedimiento Experimental CBR (Enrasado).....	91
Ilustración 16 Procedimiento Experimental (Lectura de Expansion, Rotura de CBR) .....	92
Ilustración 17 Ensayo de PH (Preparacion de muestra).....	99
Ilustración 18 Procedimiento Experimental (Lectura de PH) .....	99
Ilustración 19 Adicion de cal ala muestra .....	110
Ilustración 20 Equipos, Materiales y mezclado de Muestra con Humedad Optima y Cal.....	142
Ilustración 21 Muestra dividida en 5 partes y Compactado de Muestra .....	142
Ilustración 22 Lectura de Expansion y Saturado de la Muestra.....	142
Ilustración 23 Drenado de Muestra, Lectura de Expansion y Rotura de Muestra en la Prensa.....	143
Ilustración 24 Muestras despues de la Penetracion con la Prensa .....	143

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Limites de Atterberg .....	30
Figura 2	Carta de Plasticidad .....	37
Figura 3	Principios de Compactacion.....	41
Figura 4	Efectos de la cal sobre suelos arcillosos.....	49
Figura 5	Relacion de Variables.....	74
Figura 6	Relacion Humedad y Densidad Maxima Seca .....	94
Figura 7	Curva Granulometrica Cantera Chullunquiani.....	102
Figura 8	Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Chullunquiani y el rango especificado por la EG-2013. ....	102
Figura 9	Curva granulométrica Cantera-Taparachi.....	103
Figura 10	Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Taparachi y el rango especificado por la EG-2013.....	103
Figura 11	Porcentaje de Índice de Plasticidad de la cantera Chullunquini sin agente estabilizante y con adición de la mezcla de Cal. ....	108
Figura 12	Porcentaje de Índice de Plasticidad de la cantera Taparachi sin agente estabilizante y con adición de la mezcla de Cal. ....	109
Figura 13	Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%. ....	111
Figura 14	Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%. ....	112
Figura 15	Resumen de curvas de compactación- Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.....	112
Figura 16	CBR a los 12, 25 y 56 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera Chullunquiani) y material con Cal. ....	113
Figura 17	Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Chullunquiani.....	115
Figura 18	CBR a los 12, 25 y 56 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera Taparachi) y material con Cal.....	116
Figura 19	Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Taparachi.....	117
Figura 20	Evaluación del CBR para cada una de las 2 canteras estabilizadas con Cal .....	118
Figura 21	Correlación para el Índice de Plasticidad y el porcentaje de Cal adicionado al suelo.....	119
Figura 22	Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para el suelo natural y el suelo estabilizado con cal .....	119
Figura 23	Correlación para el Índice de Plasticidad y el porcentaje de Cal adicionado al suelo.....	120
Figura 24	Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para el suelo natural y el suelo estabilizado con cal .....	121

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Guía básica para la estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román”, tiene como objetivo general: Determinar la influencia de la estabilización de suelos con cal en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos (C.B.R) y elaborar una guía básica para estabilización de suelos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

La investigación efectuada es de tipo experimental, donde el diseño de la investigación es experimental. Debido a que se manipula de forma intencional una acción para analizar sus posibles resultados. El grupo experimental estuvo conformado por canteras de la Provincia de San Román con  $IP \geq 12\%$ .

Una vez realizado la prueba de hipótesis con la prueba de t- Student se pudo validar la hipótesis planteada, llegando a la conclusión de que la adición de Cal a los suelos plásticos de la Provincia de San Román mejora considerablemente la resistencia mecánica del suelo (C.B.R) hasta un 100% del valor del suelo convencional, cumpliendo de esa manera las especificaciones Técnicas exigidas por las normas peruanas (EG-2013).

## ABSTRACT

This paper titled "Roadmap for soil stabilization with lime in vehicular low intensity roads in the province of San Román" general objective: To determine the influence of soil stabilization with lime in the mechanical properties of plastic soils (CBR) and develop a roadmap for soil stabilization in low vehicular roads intensity in the province of San Roman.

The research conducted is experimental, where the design of the research is experimental. Because intentionally manipulated action to analyze their possible outcomes. The experimental group consisted of quarries in the Province of San Román with IP > 12%.

Once done hypothesis testing with Student t test could validate the hypothesis, reaching wing conclusion that the addition of lime to plastic soils of the Province of San Roman considerably improves their mechanical resistance of the soil (CBR) up to 100% of the value of conventional soil, thereby fulfilling the Technical especificaciones required by Peruvian standards (EG-2013).

## INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación muestra la influencia de la Cal en suelos de elevada plasticidad, mejorando las propiedades de resistencia mecánica (C.B.R), Plasticidad y expansión, en suelos de la Provincia de San Roman.

En el presente trabajo de investigación se realiza una comparación entre los valores de resistencia mecánica de los suelos (C.B.R), Plasticidad y expansión de suelo convencional y suelo estabilizado con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la Provincia de San Roman.

Esta tesis se encuentra constituida por ocho capítulos, todos ellos relacionados de manera que haya una coherencia entre las distintas partes y sea fácil su comprensión para los lectores de la presente investigación.

**CAPÍTULO I:** Planteamiento y formulación del problema, justificación de la investigación, objetivos de la investigación, limitaciones de la investigación. Estos puntos sitúan al lector dentro de la problemática de la investigación; así como de la hipótesis que será demostrada y de la operacionalización de variables.

**CAPÍTULO II:** El marco teórico compuesto de tres partes: antecedentes de la investigación, donde se consideró investigaciones anteriores que sirvieron de base para la presente investigación; el marco teórico, donde reside toda la teoría necesaria para el mejor entendimiento del presente

trabajo de investigación; y finalmente el marco conceptual, necesario para comprender los términos básicos más utilizados a lo largo de la investigación.

**CAPÍTULO III:** El método de investigación constituido por el trabajo experimental realizado; así como también la metodología de desarrollo; las herramientas y técnicas empleadas para la recolección de datos y ensayos de laboratorio necesarios.

**CAPÍTULO IV:** Exposición y análisis de los resultados obtenidos, como también las correlaciones respectivas y la prueba de hipótesis.

**CAPÍTULO V:** Conclusiones a las que se ha llegado como resultado de la presente investigación validando la hipótesis planteada. A su vez se presentan las recomendaciones y sugerencias para seguir investigando e implementando trabajos relacionados a la estabilización de suelos con cal.

**CAPÍTULO VI:** La bibliografía correspondiente.

**CAPÍTULO VII:** Anexos respectivos.



**CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA  
INVESTIGACIÓN**

---

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**Análisis de la Situación Problemática:** En la actualidad debido al deficiente estado de las vías ocasionado por el tráfico peatonal y vehicular para el traslado de los productos de la zonas rurales trae consigo altos incremento de costo de los beneficiarios, además de la inseguridad de los peatones, pérdida de tiempo de viaje, más aún en las épocas de precipitaciones pluviales, por lo que la población tiene que tomar otra vía alterna incrementándose el tiempo y el costo de viaje hacia los mercados locales.

**Descripción del Problema de Investigación:** El tema de estabilización de suelos es muy importante en construcciones viales ya que en la actualidad existen muchos proyectos que fueron construidos están deteriorados y a la fecha sufren daños considerables en sectores donde el CBR del suelo es bajo. 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; 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.



## 1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. PREGUNTA GENERAL

¿De qué manera influye la estabilización de suelos con cal en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román?

### 1.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- ¿Cómo influye la cal en la plasticidad de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román?
- ¿Cómo influye la cal en la expansión de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román?

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

Según el Plan Vial Provincial Participativo San Román-2009-2018, de los 78,127 Km. que conforman la red vial en el Perú, al Departamento Puno le corresponde el 6.5%, consistente de 12.73 % de carretera asfaltada, 28.07 % de carretera afirmada, 11.78% de carretera sin afirmar y 47.42 % entre carreteras y trochas. Los caseríos de la región altiplánica están articulados con Bolivia, no sucediendo así con la sierra sur y selva, que a pesar de ser zonas extensos recursos naturales importantes, se encuentran desvinculados entre sí y con el eje el sur nacional.

A diferencia de lo observado a nivel nacional y regional; la red vial provincial de San Román, sólo el 21.4 % se encuentra asfaltada, el 30.1% está afirmada, el 3.3 % corresponde a superficie sin afirmar y la mayor parte (45%) a trochas

carrozables, estos porcentajes justifican nuestra investigación. La tabla 1 muestra el detalle de lo expuesto.

*Tabla 1*  
*Porcentajes y longitudes del tipo de superficie de la red vial*

AMBITO / RED VIAL	TIPO DE SUPERFICIE (Km)									
	ASFALTADO		AFIRMADO		SIN AFIRMAR		TROCHA		TOTAL	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
<b>SAN ROMAN</b>	153.35	21.46	215.28	30.13	23.65	3.31	322.16	45.09	714.44	100.00
<b>Nacional</b>	121.84	17.05	69.40	9.71	0.00	0.00	0.00	0.00	191.24	26.77
<b>Departamental</b>	30.19	4.23	51.06	7.15	0.00	0.00	15.23	2.13	96.48	13.50
<b>Vecinal</b>	1.32	0.18	94.82	13.27	23.65	3.31	306.93	42.96	426.72	59.73

*Fuente: Levantamiento Georreferenciado de la red vial de la Provincia San Román PROVIAS DESCENTRALIZADO- Octubre 2008. PVDP Puno, 2004 MTC-Dirección de Caminos*

La transitabilidad del sistema vial provincial es limitada, debido a que en gran parte (78.5%) se encuentra en mal estado, pues se trata de una red carente de mantenimiento. Esta situación se debe principalmente al exceso de tráfico vehicular de pasajeros y carga; a la cual se suma las inclemencias climáticas y la falta de políticas de mantenimiento; a pesar de constituirse en un sistema vial de conexión internacional.

Originalidad de la propuesta de investigación: Considerando los antecedentes respectivos, se ha determinado que a nivel regional, no existe ningún trabajo científico o tecnológico relacionado la elaboración de una "guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román. Por lo que la investigación propuesta es original y nueva.

Relevancia científica y tecnológica: El presente trabajo ayudara a que el suelo utilizado para la estructura de los caminos vecinales presenten un comportamiento más adecuado frente a la aplicación de cargas móviles.

Relevancia social y ambiental: El presente trabajo de investigación se realiza para poder facilitar el tránsito de las personas entre comunidades en cualquier época de año.

Relevancia económica: El uso de la cal hidratada para la estabilización de suelos en caminos vecinales reduce los costos de dichos medios de comunicación disminuyendo el costo del transporte de las distintas poblaciones.

Vigencia o Moda del Tema Propuesto de Investigación: Hoy en día el uso de diferentes agentes estabilizadores de suelos es bastante común y conocer los efectos que dichos agentes ocasionan en los suelos es de vital importancia.

Productos Esperados de la Investigación y Utilidad de los Mismos: De la investigación se espera elaborar una “guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la Provincia de San Román”.

Relación Costo / Beneficio de la Investigación: La investigación por ser de carácter descriptivo, su costo para realizarla será menor, cuyo beneficio será mayor porque ayudara en la construcción de caminos vecinales:

Factibilidad o Viabilidad del Estudio: La realización de la investigación es factible, en vista de que debido a las condiciones climáticas bruscas de nuestra región los caminos vecinales se deterioran con mucha facilidad y prematuramente es necesaria la estabilización de los suelos a menor costo.

#### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia de la estabilización de suelos con cal en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos y elaborar una guía básica para estabilización de suelos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

##### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la plasticidad (I.P) de los suelos plásticos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.
- Determinar la expansión de los suelos plásticos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

##### **1.5.1 HIPOTESIS GENERAL**

La cal incrementa la resistencia mecánica de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

### 1.5.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- La cal disminuye la plasticidad (I.P) de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.
- La cal disminuye la expansión de los suelos plásticos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

### 1.6. LIMITACIONES

La generación de esta guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román tiene una serie de limitaciones, entre las que podemos mencionar.

- Sólo se realizarán aquellos ensayos con el equipo disponible en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil y laboratorios de otras escuelas profesionales de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Los ensayos a ejecutar serán los básicos y fundamentales para poder realizar el diseño de la mezcla suelo-cal en el laboratorio.
- Se tocará solamente lo que concierne al diseño de la mezcla suelo-cal.
- En esta investigación no se contemplan las estabilizaciones de suelos con cemento y asfalto y por consiguiente, estos temas se tratarán en este documento de una manera muy general.



## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

---

## 2.1. ANTECEDENTES

### **TESIS: GUÍA BÁSICA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR**

Según (HUEZO MALDONADO & ORELLANA MARTINEZ, 2009), quienes se han planteado como objetivo principal: Elaborar una guía para la estabilización de suelos plásticos ( $IP \geq 10$ ), mediante el diseño de una mezcla suelo-cal, para ser usada en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador.

Conclusiones: a). La adición de cal disminuye la plasticidad del suelo, reduciendo de igual manera su cohesión, y la resistencia en los primeros días de curado; razón por la cual la resistencia a compresión a temprana edad en probetas elaboradas con suelo natural son superiores que las de mezcla suelo-cal, b). La adición de cal disminuye considerablemente la plasticidad de los suelos, para este suelo en particular con el porcentaje óptimo de cal (determinado bajo la norma ASTM D 6276) se reduce esta propiedad a cero (0), provocando además un considerable cambio en su granulometría y de igual manera en su clasificación, pasando de un suelo arcilloso (CL) a ser un suelo limoso (ML), c). La dosificación del porcentaje de cal a utilizar, dependerá de las características y propiedades que presente cada suelo en particular.

Recomendaciones: a). Se recomienda que antes de comenzar cualquier trabajo de terracería, tener el conocimiento de las características de los materiales, de los problemas que estos materiales puedan generar y de las soluciones que pueden adoptarse, b). Precedentes a esta investigación, muestran que cuando el suelo presenta una mayor plasticidad y es estabilizado con cal, los resultados obtenidos en sus propiedades son superiores, puesto que se genera una mejor reacción química entre estos, por lo cual se recomienda más estudios de esta técnica de

estabilización en nuestro país, donde se involucren distintos suelos con diferentes propiedades plásticas.

### **TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**

Según (RUANO LOPEZ, 2012), quien se han planteado como objetivo principal: Realizar de manera precisa y mecánica el estudio de investigación de estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados.

Conclusiones: a). La cal viva tiene un bajo costo en el mercado comparada con la cal hidratada y se pudo comprobar que su uso es muy eficaz en la estabilización de suelos cohesivos, ya que se pueden lograr una estabilización de bajo costo mezclándola con la arena sílice y arena azul, b). Las mezclas propuestas van del 10 por ciento, 25 por ciento y 50 por ciento de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6 por ciento a 91,5 por ciento, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar.

Recomendaciones: a). El uso de la cal viva en las estabilizaciones con arenas volcánicas crea un resultado eficiente pero se debe de utilizar una de buena calidad para lograr los resultados esperados, en la investigación se propone un fábrica la cual utiliza un banco de muy buena calidad, pero si se desea utilizar otra por cuestión de cercanía se debe de verificar la calidad de la misma, b). Cuando se inicie a realizar la estabilización de un área, se debe de tomar muestras del suelo cohesivo a estabilizar para conocer las características y propiedades del mismo para relacionar con las muestras de suelos que en esta investigación se



trabajaron y corroborar que similitudes presentan para utilizar como base los valores de porcentaje de CBR que acá se obtuvieron para tomarlos como referencia.

### **TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS TERRESTRES**

Según (WINCHE GRANDA, CARTUCHE MOROCHO, & SERRANO, 2006) quienes se han planteado como objetivo principal: presentar y discutir los principales resultados obtenidos en un estudio experimental, destinado a evaluar la estabilización con Cloruro de Sodio (NaCl), Cal y Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), en suelos arcillosos y limosos, y cuyos resultados se encaminan a la aplicación en terracerías de las vías terrestres.

Conclusiones: a). El índice de plasticidad para cada tipo de suelo disminuye al aplicar el estabilizante al suelo, b). Las características de compactación para cada uno de los suelos es similar, debido a que existe un incremento en la densidad seca máxima y una disminución en el contenido óptimo de humedad, lo anterior puede deberse al incremento de cristales del aditivo que se unen a los minerales del suelo y que ayudan a la absorción de agua que antes solo lo hacía el suelo, c). En lo referente al ensayo CBR, podemos exponer que existe un incremento en la capacidad de soporte para los tres tipos de estabilización en comparación con el suelo en estado natural, d). Utilizar el cloruro de sodio como un producto para estabilizar es ventajoso pues al dimensionar la estructura del pavimento en este caso particular, logramos disminuir el espesor total del pavimento, en relación a su estado natural. Considerando lo anotado anteriormente, podemos decir que en aspectos constructivos este tipo de estabilización nos ayuda a disminuir los costos

de construcción.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. SUELO

#### 2.2.1.1. EL SUELO Y SU ORIGEN

A través de un proceso de desintegración mecánica y descomposición química, las rocas de la corteza terrestre forman los materiales sueltos que se encuentran en ella.

El término “suelo” ha sido definido de diferentes maneras, algunos ingenieros civiles lo definen:

(A. Rico y H. del Castillo) definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición químicas de rocas preexistentes.

Otro autor, Alfred R. Jumikis, doctor en ingeniería, lo define como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas.

Se define como una capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

### 2.2.1.2. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS

A continuación se describen los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por el ingeniero civil para su identificación.

- **GRAVAS:** Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en los márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.0 mm.

La forma de las partículas de las gravas y su relativa frescura mineralógica dependen de la historia de su formación, encontrándose variaciones desde elementos rodados a los poliédricos. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

- **ARENAS:** La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su

trituration artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

- LIMOS: Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar. (CRESPO VILLALAZ, 2004).
- ARCILLAS: Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un

silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada y sus átomos están dispuestos en forma laminar.

De hecho se puede decir que hay dos tipos clásicos de tales láminas: uno de ellos del tipo silíceo y el otro del tipo alumínico. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

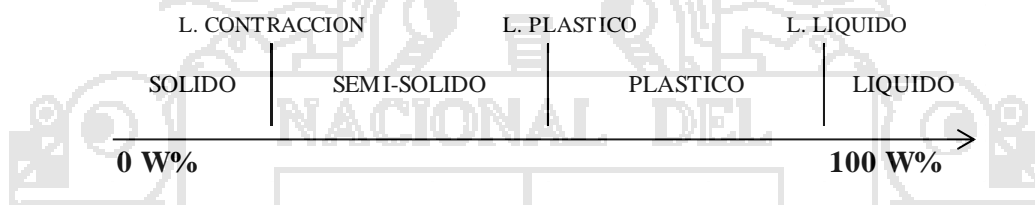
### **2.2.1.3. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.



*Figura 1 Límites de Atterberg*

- **LÍMITE LÍQUIDO:** El límite líquido se define como el contenido de humedad expresada en por ciento con respecto al peso de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25g/cm<sup>2</sup>. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula. (CRESPO VILLALAZ, 2004).
- **LÍMITE PLASTICO:** El Límite Plástico (L.P) se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

- **INDICE DE PLASTICIDAD:** Se denomina Índice de Plasticidad o Índice plástico (I.P) a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico tal como lo definen los ensayos. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo.

Comparando el índice de Plasticidad con el que marcan las especificaciones respectivas se puede decir si un determinado suelo presenta las características adecuadas para cierto uso. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

- **LIMITE DE CONTRACCION:** El límite de contracción (L.C) de un suelo se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. La diferencia entre el límite plástico y el límite de contracción se llama índice de contracción (I.C) y señala el rango de humedad para el cual el suelo tiene una consistencia semia-sólida. (CRESPO VILLALAZ, 2004).

#### **2.2.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**

Un Sistema de Clasificación de los Suelos es una agrupación de éstos con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que

las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para el cual se desarrollaron, por consiguiente, sólo se explicarán las clasificaciones empleadas en obras viales.

#### 2.2.1.4.1. SISTEMA AASHTO M-145

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado y a partir de entonces se le conoce como Sistema AASHO y recientemente AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula por la fórmula empírica:

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

En que:

F = Porcentaje que pasa por el tamiz ASTM N°200 (0.08 mm), expresado en números enteros.

L.L = Límite Líquido.

IP = Índice de Plasticidad.

Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. Disponiendo de los resultados de los



ensayos requeridos, proceda en la Tabla 2 de izquierda a derecha y el grupo correcto se encontrará por eliminación. El primer grupo desde la izquierda que satisface los datos de ensayo es la clasificación correcta. Todos los valores límites son enteros, si alguno de los datos es decimal, se debe aproximar al entero más cercano.

El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Este método define:

- **Grava:** Material que pasa por la malla de 75 mm (3") y es retenido en la malla de 2mm (N°10).
- **Arena gruesa:** Material comprendido entre la malla de 2 mm (N°10) y la malla de 0.50 mm (N°40).
- **Arena fina:** Material comprendido entre la malla de 0,50mm (N°40) y la malla de 0,08 mm (N°200).
- **Limo arcilla:** Material que pasa por la malla de 0,08 mm (N°200).
- El término material granular se aplica a aquellos con 35% o menos que pasa la malla de 0,08 mm (N°200); limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso se aplica a los materiales finos que tienen índice de plasticidad 11 o mayor. Materiales limo arcilla contienen más del 35% pasante la malla de 0,08 mm (N°200).
- Cuando se calcula índices de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, use solamente el término del índice de plasticidad de la fórmula.

- Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0).
- Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje pasante la malla de 0,08 mm (N°200), límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto. (UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, 2013)

*Tabla 2*  
*Sistema de Clasificación AASHTO*

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

(1): No plástico  
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Fuente: (GONZALES BOADA, 2005)

### 2.2.1.4.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS USCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm (N°200); se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz de 5 mm (N°4), y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz de 5 mm (N°4).

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz de 0,08 mm (N°200), se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor. Para mayor comprensión describiremos el procedimiento de clasificación:

#### **Procedimiento de Clasificación de Suelos de granos gruesos (más de 50% retenido en 0,08 mm (N°200)).**

- Una vez efectuados los ensayos de clasificación, determine la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y clasifique la muestra como grava (G), si el 50%, o más de la fracción gruesa ( $> 0,08$

mm) es retenida en tamiz 5 mm (N°4), y clasifíquela como arena (S), si más del 50% de la fracción gruesa (> 0,08 mm) pasa por tamiz 5 mm (N°4).

- Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por tamiz 0,08 mm (N°200), calcule:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Y} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

- Clasifique la muestra como grava bien graduada (GW), o arena bien graduada (SW), si  $C_c$  es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y  $CL$  está comprendido entre 1 y 3.
- Clasifique la muestra como grava pobremente graduada (GP), o arena pobremente graduada (SP), si no se satisfacen simultáneamente los criterios de  $C_c$  y  $CL$  para bien graduada.
- Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensaye pasa por 0,08 mm (N°200), analice los valores del límite líquido (L.L) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad).
- Clasifique la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar L.L versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4.
- Clasifique la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el w, versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.

- Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC.
- Si pasa por tamiz 0,08 mm (N°200) del 5 al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de graduación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad. Por ejemplo una grava con 10% de finos, un  $C_u$  de 20,  $C_w$  de 2,0 y un índice de plasticidad de 6, será clasificado como GW-GM en vez de GW-CG.

**Procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,08 mm (N°200)).**

- Clasifique el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7.

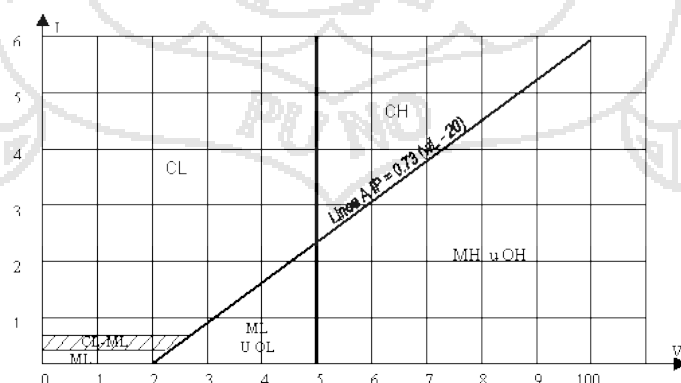


Figura 2 Carta de Plasticidad

- Si el límite líquido es menor que 50 y el punto L.L versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, clasifíquela como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50 y el punto L.L versus IP cae sobre la línea A (Carta de plasticidad figura 2). En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, expanda la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".
- Clasifique el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto L.L versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y olor orgánico cuando está húmedo y tibio), en cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensaye secada al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O), si el límite líquido después del secado al horno, es menor que 75% del límite líquido de la muestra original determinado antes del secado.
- Clasifique el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar L.L versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.
- Clasifique el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), sí el L.L. Es mayor que 50 y el punto dibujado de wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

- Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del L.L versus IP cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de L.L versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH.
- En casos dudosos la regla de clasificación favorece al más plástico. Por ejemplo, un suelo fino con un  $w_L = 50$  y un índice de plasticidad de 22 se deberá clasificar como CH-MH en lugar de CL-ML.

Este sistema fue adoptado por el U.S. Army Corps of Engineers en 1942 y en 1947 le introdujo algunos límites para evitar doble clasificación. En 1952, el Cuerpo de Ingenieros en conjunto con el Bureau of Reclamation y asesorados por el Dr. Casagrande efectuaron las últimas modificaciones.

Basados en observaciones de terreno y ensayos de Laboratorio de materiales de base para caminos y aeropuertos, el Cuerpo de Ingenieros subdividió los grupos GM y SM en dos grupos, designados por los sufijos "d" y "u", que han sido escogidos para representar a materiales que son convenientes o no, respectivamente, para ser empleados en bases de caminos y aeropuertos. Símbolos típicos son GM, y SM.

Se emplea el sufijo "d" cuando el límite líquido es menor o igual a 25 y el índice de plasticidad menor o igual a 5. (UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, 2013)

Tabla 3  
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

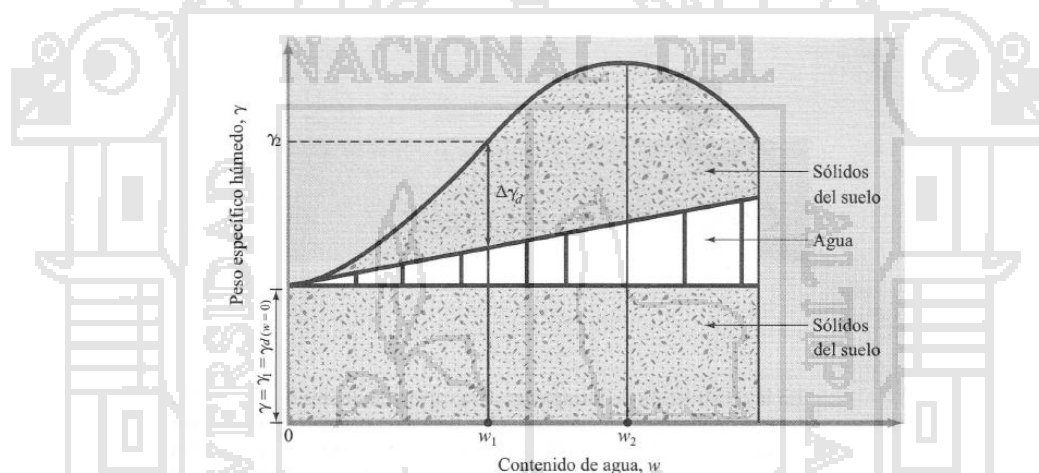
DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Determinar porcentaje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

Fuente: (GONZALES BOADA, 2005)



### 2.2.1.5. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre si y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua (figura 3). (BRAJA M., 2001)



*Figura 3 Principios de Compactación*

*Fuente: (BRAJA M., 2001)*

#### 2.2.1.5.1. PRUEBA DE PROCTOR

La prueba de Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto (CRESPO VILLALAZ, 2004):

- Determinar el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar un material así como la humedad óptima  $W_o$  a que deberá hacerse la compactación.
- Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, aeropuertos y calles, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo proctor.

#### **2.2.1.5.2. VALOR RELATIVO DE SOPORTE-ENSAYO DE C.B.R.**

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm.

Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de

suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

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

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

Tabla 4

Valores de Carga Unitaria

PENETRACION		CARGA UNITARIA PATRON		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm2	psi
2.54	0.1	6.90	70.00	1000
5.08	0.2	10.30	105.00	1500
7.62	0.3	13.10	133.00	1900
10.16	0.4	15.80	162.00	2300
12.7	0.5	17.90	183.00	2600

Fuente: (UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, 2013)

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR. (UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, 2013)

## 2.2.2. CAL

### 2.2.2.1. GENERALIDADES SOBRE LA CAL

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas a temperaturas entre 880 y 9000C, constituido principalmente por óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y otros componentes. La adición de cal en los materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, sub-base y bases, por sus diferentes reacciones, en mayor y menor grado, produce aumento en su límite líquido y mayor incremento en su límite plástico para generar así una disminución en su índice plástico; aumentando la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos y el CBR. (HUESO MALDONADO & ORELLANA MARTINEZ, 2009)

### 2.2.2.2. LOS DIFERENTES TIPOS DE CAL

La palabra cal es un término general con el que se designan formas físicas y químicas de las diferentes variedades en que pueden presentarse los óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio. A efectos de clasificación se distinguen los siguientes tipos de cal: (SANPEDRO RODRIGUEZ, 1997)

#### 2.2.2.2.1. CALES AÉREAS

Cales que se componen principalmente de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del  $\text{CO}_2$  de la atmósfera. No presentan propiedades hidráulicas, es decir,

no endurecen con el agua y se obtienen a partir de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95%.

#### 2.2.2.2. CALES HIDRAÚLICAS

Endurecen en contacto con el agua. Obtenidas a partir de calizas que contienen arcillas (Sílice y Alúmina). Durante la calcinación y la posterior hidratación se forman silicatos y aluminatos cálcicos de propiedades hidráulicas.

#### 2.2.2.2.3. CALES UTILIZADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Las cales utilizadas en la estabilización de suelos son CALES AÉREAS.

Estas presentan las siguientes formas:

- **CALES VIVAS:** Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio producidas por calcinación de la caliza.



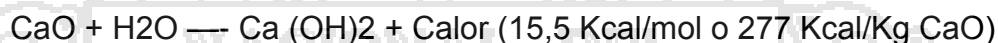
Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas. En contacto con el agua se hidratan siendo la reacción fuertemente exotérmica.

Cuando se utilizan calizas que también contienen en su composición carbonato de magnesio, una vez calcinadas se obtienen a la vez óxidos de calcio y de magnesio. Si el porcentaje de óxido de

magnesio es > 5%, la cal se denomina **cal dolomítica o dolomia calcinada**.

NOTA: Hay que tener en cuenta en la estabilización de suelos que el apagado de la cal dolomítica es más lento que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio <5%.

- **CALES APAGADAS O HIDRATADAS:** Son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.



No dan reacción exotérmica en contacto con el agua y se comercializan en forma de polvo fino y seco o en lechada de cal (suspensión de agua y cal).

- **CAL EN FORMA DE LECHADA:** Es la suspensión de cal apagada en agua. También puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal apagada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal. La proporción de cal apagada es tal, que tiene la apariencia de la leche, (150 a 400 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  por litro de agua). La cal puede ser utilizada bajo forma de lechada de cal en el tratamiento de los suelos cuando se quieren conseguir las siguientes ventajas:
  - Supresión del polvo producido en el extendido de la cal
  - Humidificación de los suelos secos.

La lechada de cal puede ser preparada en la propia fábrica o in situ, en depósitos o cubas equipadas de un sistema de agitación, a partir de cal viva o de cal apagada. Una vez preparada la misma, ésta se aplica directamente sobre el suelo.

Para el tratamiento de suelos se puede utilizar: cal viva (óxido de calcio –  $\text{CaO}$ ), cal hidratada (hidróxido de calcio –  $\text{Ca} [\text{OH}]_2$ ) o una lechada de cal (es una suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o de cal viva)

El uso vial mas importante de la cal es el de estabilizar suelos, para estos fines se emplea la cal hidratada en polvo, que viene envasada en bolsas de papel facilitando de esta manera su manipuleo y transporte.

### **2.2.2.3. LA CAL COMO SOLUCION**

En la construcción de carreteras, el aprovechamiento de los suelos naturales de la traza puede presentar dificultades debido a:

- El alto contenido de agua,
- La presencia de arcilla en los mismos,
- A la combinación de ambos elementos.

La importancia del contenido de agua es conocida por todos ya que, si es demasiado elevado, hace que la circulación de máquinas en obra sea difícil cuando no imposible y si es demasiado bajo la compactación

resulta una operación difícil. Los materiales que tienen arcillas en su composición, son conocidos por sus mediocres propiedades geotécnicas que, además, varían según las condiciones climáticas. (SANPEDRO RODRIGUEZ, 1997)

La cal aporta una solución interesante a la vez de económica a estos problemas, ya que:

- La aportación de cal permite secar los suelos excesivamente húmedos.
- Utilizándola en sus diferentes formas (viva, hidratada o en lechada), mejora y estabiliza las características de los suelos arcillosos a corto y largo plazo.
- Permite utilizar los suelos de la traza reduciendo o evitando el impacto ambiental debido a la extracción de otros suelos o al vertido de los procedentes de las excavaciones de la traza

#### **2.2.2.4. ACCIÓN SOBRE LOS SUELOS ARCILLOSOS**

Los efectos de la cal sobre los suelos arcillosos pueden ser divididos en dos grupos principales:

- a) Debidos a reacciones rápidas (minutos/horas); es una estabilización por modificación (Fig. 4).
- b) Provenientes de reacciones a largo plazo (semanas/meses); pueden asimilarse a una estabilización por cementación.



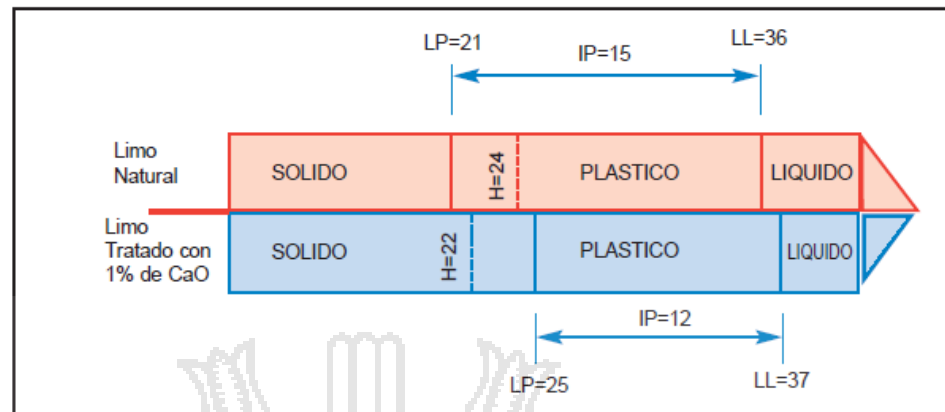


Figura 4 Efectos de la cal sobre suelos arcillosos.

Fuente: (SANPEDRO RODRIGUEZ, 1997)

Como consecuencia de los anteriores efectos, la acción de la cal produce un notable incremento de la resistencia y rigidez del suelo que pierde plasticidad y ductilidad. La permeabilidad del suelo, que inmediatamente después del tratamiento podría ser considerado como un árido maleable que va cementando progresivamente con el tiempo, aumenta considerablemente a corto plazo, pero progresivamente decrece a medida que van teniendo lugar las reacciones de cementación y por tanto, se reduce la susceptibilidad al agua en gran manera, lo que es puesto en evidencia por las modificaciones del Índice de Plasticidad y de la retracción e hinchamiento del suelo. (SANPEDRO RODRIGUEZ, 1997)

### 2.2.3. ESTABILIZACION DE SUELOS

#### 2.2.3.1. ALGUNAS TECNICAS PARA ESTABILIZACION DE SUELOS.

Como su nombre lo indica, con este proceso se pretende hacer más estable a un suelo. La razón primordial que acompaña a todas las estabilizaciones, es el de mejorar y cambiar las propiedades de un suelo. Existen muchas formas de estabilizar un material, un método muy usado de estabilización es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo mezclándole cemento, cal, asfalto entre otros.

Los siguientes casos pueden justificar una estabilización:

- a) Un suelo de sub rasante desfavorable, o muy arenoso, o muy arcilloso.
- b) Materiales para base o sub base en el límite de especificaciones.
- c) Condiciones de humedad.
- d) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- e) Para el aprovechamiento de los materiales existentes del lugar de construcción de la obra.

Los agentes estabilizadores más usados para mezclarlos con suelo y formar capas de pavimento son: el cemento, la cal y el asfalto.

### 2.2.3.1.1. Estabilización con mezcla suelo cemento.

La estabilización de suelo con cemento, es la más utilizada en el mundo. Es muy sencilla de realizar y no se necesita equipo especial de construcción. El suelo-cemento consiste en mezclar suelo con cemento, y compactarlo en su contenido óptimo de humedad. La función del cemento es aglutinar el material y convertirlo en una masa endurecida de carácter estable. El agua hidrata el cemento y ayuda a obtener la máxima densidad lubricando los granos y partículas de suelo. Una vez que el suelo y el cemento han sido mezclados y compactado, inicia la acción del cemento la cual provoca el endurecimiento de la masa. Al mezclar un suelo con cemento, se produce un nuevo material, duro, con mejores características que el usado como agregado. Esta estabilización no es tan sensible a la humedad como la hecha con asfalto. Pueden usarse todos los suelos para efectuarla, excepto los altamente orgánicos, aunque los más convenientes son los granulares, de fácil disgregado. Los limos, las arenas limosas y arcillas, todas las gravas y las arenas, son agregados adecuados para producir la mezcla suelo-cemento, que tienen excelentes cualidades, que respecto a la de los suelos granulares son:

- a) Tiene mayor módulo de elasticidad.
- b) Es más impermeable.
- c) Es muy resistente a la erosión del agua.
- d) En presencia de la humedad, en lugar de perder resistencia, la aumenta.

e) Su resistencia aumenta con el tiempo.

La cantidad de cemento necesaria varía con el tipo de suelo, siendo menor si el suelo es poco arcilloso. El criterio de diseño de las mezclas suelo-cemento es para obtener un material de mayor resistencia. No sólo se debe pensar en disminuir plasticidad. La resistencia a la compresión, es uno de los parámetros primordial de análisis en la estructura de un pavimento, el cual se determina mediante la realización de probetas cilíndricas elaboradas con una energía de compactación determinada según sea la especificada y su respectiva humedad óptima. El procedimiento de construcción consta de las fases siguientes:

- a) Mezclado de cemento y suelo a estabilizar.
- b) Colocación de agua, hasta llegar a obtener la humedad optima dentro de la mezcla suelo-cemento.
- c) Compactación
- d) Curado de unos 7 días.

#### **2.2.3.1.2. Estabilización con mezcla suelo-asfalto.**

En algunos casos conviene estabilizar un material usando algún producto asfáltico para elaborar capas base o sub base. A estas bases asfálticas también se los conoce como base negras. El uso de algunos productos asfálticos (asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y cemento asfálticos) está limitado a suelos granulares o de partículas gruesas. Es muy difícil estabilizar un material arcilloso, por los grumos de esos suelos. La estabilización con asfalto puede tener dos fines:

- a) Reducir la absorción de agua del material, usando poca cantidad de asfalto
- b) Incrementar la resistencia de un material usando mayor cantidad de asfalto, como en las bases asfálticas.

#### **2.2.3.1.3. Estabilización con mezcla suelo-cal.**

El uso de cal para mejorar suelos con plasticidad, aparte de conseguir ese fin, aumenta también su resistencia a la compresión en función del tiempo. La cantidad de cal variara en función de la necesidad que se tenga y de las propiedades del suelo utilizado en la estabilización. Generalmente los porcentajes de cal utilizados en una estabilización variaran de un 2 a 8% en peso. Para que la cal reaccione adecuadamente se necesita que el suelo presente plasticidad ( $IP > 10$ ), y se pueda lograr así la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo. El suelo cemento adquiere su resistencia rápidamente, ya que solo se necesita que el cemento se hidrate adecuadamente. En cambio el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. Una ventaja del suelo cal es que su periodo de curado puede iniciarse más tarde, en cambio, el suelo cemento requiere curado inmediato.

Por lo general, las arenas no reaccionan favorablemente con la cal y no pueden estabilizarse con ella.

El éxito de la estabilización con cal, no solo para disminuir plasticidad, sino para adquirir resistencia, es el tipo de suelo o el tipo de mineral arcilloso que contenga.

El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas suelo-cal, depende del papel que vaya a desempeñar la cal:

- a) Modificador de plasticidad o humedad.
- b) Proporcionador de resistencia.

#### **2.2.3.2. ESTABILIZACION DE SUELOS PLASTICOS OCUPADOS EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR.**

Es indispensable antes de comenzar cualquier trabajo con un suelo, tener el conocimiento más preciso posible sobre las características de los materiales que lo componen, de los problemas que estos materiales van a generar y de las soluciones que pueden adoptarse (por ejemplo el tratamiento de estabilización con cal).

La utilidad de la cal es para aquellos casos en los que no se necesite pronta resistencia.

Este aglomerante es muy adecuado para bajar la plasticidad de los suelos plásticos o para contrarrestar el alto contenido de humedad en terracerías, bases, sub bases o sub rasante, siempre que éstas no sean muy arenosas.

Como norma general, se puede señalar que, para que la estabilización con cal sea eficaz, los suelos deben ser plásticos, y en este sentido se

considera que, a partir de un Índice de Plasticidad, IP, igual o mayor de 10, el suelo es adecuado para reaccionar satisfactoriamente a su estabilización con cal, ya que esto es la clave para las reacciones químicas que proporcionan mejoras en las propiedades del suelo de forma inmediata y a largo plazo, y no contar con más del 1% de materia orgánica; esto porque suelos que contengan cantidades superiores al 1% de materia orgánica puedan requerir porcentajes de cal adicional considerables y/o procedimientos de construcción especiales.

### 2.2.3.3. ANALISIS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN UNA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL.

**Suelo.-** Los suelos que componen la mezcla suelo – cal deben ser del propio camino o provenir, en todo o en parte, de préstamos seleccionados. Los sitios de préstamo deberán contar con suelos que cumplan con las propiedades requeridas por las normas AASHTO y ASTM para formar parte de la estructura de un pavimento.

Los suelos que se usen para la elaboración de mezcla suelo-cal deben estar limpios y recomendable que estos no deban tener más de uno por ciento (1%) de su peso de materia orgánica. Además la fracción del suelo que pasa la malla No 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 50mm ó 1/3 del espesor de la capa compactada

de suelo-cal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con cal, será variable según se especifique en el proyecto.

**Cal.-** La cal que se use para la construcción de suelo-cal puede ser cal viva ó cal hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos bajo las especificaciones de la norma ASTM C-977.

**Agua.-** El agua que se use para la construcción de mezcla suelo – cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

**Mezcla suelo-cal.-** Los ensayos para determinar el porcentaje de cal y los demás requisitos que debe satisfacer la mezcla de suelo-cal deben ser ejecutados con los materiales que se vayan a usar, incluyendo el agua de mezclado, de acuerdo a la norma ASTM D 6276 (Método de ensayo estándar, usando el pH para estimar la proporción suelo-cal requerida para la estabilización de suelos).

El porcentaje óptimo de cal requerido en la estabilización del suelo, se determina mediante la estimación del pH, o determinando el índice de plasticidad más bajo requerido, como resultado de varias mezclas de suelo-cal con diferentes porcentajes de cal, respecto al peso seco del suelo.

Cuando la mezcla de suelo-cal se use para la construcción de capas estructurales debe tener los valores C.B.R. requeridos. Se deberá mostrar una fórmula de trabajo, donde se indique las cantidades y



tipo de cal, el volumen de agua y los procesos que se deben seguir para obtener los requerimientos estructurales solicitados.

#### **2.2.3.4. PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO-CAL.**

Las mezclas suelo-cal sufren una serie de modificaciones en sus propiedades índices, las cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural, estas modificaciones se dan con más frecuencia en las siguientes propiedades:

##### **2.2.3.4.1. Granulometría.**

Los suelos con gran proporción de partículas finas, con plasticidad alta, son más sensibles a la adición de cal que los suelos compuestos de arenas y limos, debido a la floculación de las partículas finas y su aglutinación posterior, lo que hace en algunos casos que pasados algunos días de hecha la mezcla, el análisis granulométrico del suelo, presente un incremento notable de arena fina y limo, así como una reducción en los tamaños que pasan por el tamiz No 200.

##### **2.2.3.4.2. Plasticidad.**

La adición de cal eleva el límite plástico de los suelos y reduce el límite líquido, principalmente en suelos muy plásticos, y puede tener el efecto contrario en los suelos de menor plasticidad.

### 2.2.3.5. TIPOS DE TRATAMIENTOS DE SUELOS CON CAL.

Hay varios tipos posibles de tratamientos de suelos con cal, en función de los objetivos a conseguir: el secado, la modificación y la estabilización propiamente dicha.

#### 2.2.3.5.1. Secado de suelos:

En el caso de suelos arcillosos con exceso de humedad, la adición de cal viva o cal hidratada disminuye el contenido de agua por la acción combinada de:

- a) aporte de producto seco,
- b) consumo del agua necesaria para hidratarse y formar hidróxido cálcico,
- c) y evaporación de agua debida a la reacción anterior, fuertemente exotérmica.

De esta forma, el aporte de un 1 % de cal viva puede disminuir el contenido de humedad del suelo en un 4 ó 5 %. Si a ello le sumamos el efecto de aireación y mezclado del material, el valor de la disminución puede llegar al 7 %.

La mezcla del suelo con cal permite, debido a la conjunción de los efectos anteriormente señalados, elevar la temperatura del suelo y reducir inmediatamente el exceso de humedad.

Por el contrario, si la humedad de los suelos se encuentra por debajo de la óptima, puede ser aconsejable aplicar la cal en forma de lechada o cal hidratada, aportando la cal y el agua necesarias en una sola operación.

#### **2.2.3.5.2. Mejora por modificación:**

Se trata de una modificación inmediata de las propiedades geotécnicas, reduciendo en un corto periodo de tiempo (minutos/horas) la cantidad de agua retenida por la arcilla y mejorando su trabajabilidad.

La mezcla de cal con el suelo provoca reacciones rápidas que originan cambios físicos químicos producidos por cambios iónicos, neutralización y floculación. Las partículas finas de arcilla se aglomeran en elementos más gruesos y friables. Estas reacciones se producen siempre que el suelo tenga un cierto porcentaje de finos.

En los suelos plásticos donde se aplica cal, se aprecia que el suelo pierde su carácter pegajoso y toma un aspecto arenoso, mejorando enormemente su trabajabilidad y compactibilidad, mejorando también la capacidad portante.

La modificación actúa tan rápidamente como se hace la mezcla de cal con el terreno. En general, para conseguir estas modificaciones, la dosificación necesaria de cal oscila entre el 1% y el 3%.

#### **2.2.3.5.3. Estabilización:**

La estabilización propiamente dicha consiste en una mejora a largo plazo (meses/años) por cementación, en función de la temperatura ambiente y de la naturaleza de la arcilla, aumentando la capacidad portante del suelo con el fin de poder emplearlo en capas más solicitadas. De esta forma pueden obtenerse bases, sub bases y sub

rasantes con buenas propiedades estructurales que van incrementándose en el tiempo, a la vez que hace insensible la capa estabilizada al agua.

El objetivo principal de la cal en un suelo, es elevar su valor de pH hasta un valor de 12.4, de esta forma se libera sílice y alúmina de la arcilla que reaccionan con los iones calcio procedentes de la cal, formando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que, como en el caso de los cementos portland, incrementan la resistencia mecánica. Esta reacción de tipo puzolánico es progresiva con el tiempo y aumenta la impermeabilidad, la resistencia mecánica y la resistencia a las heladas del suelo tratado. Los porcentajes necesarios de cal para garantizar la permanencia de las reacciones puzolánicas a lo largo del tiempo oscilan entre el 2% y el 8%.

El mecanismo de estabilización es mucho más complejo que el de modificación, debido a las dos variables que influyen en su desarrollo. Por un lado, su desarrollo en el tiempo, y por otro, la reacción cal-arcilla. Es aconsejable, por lo tanto, basar el proyecto de una estabilización determinada en un estudio más en detalle de cómo mejora la cal los parámetros resistentes del suelo a medio y largo plazo.

#### **2.2.3.5.4. Estabilización mixta:**

Cualquiera de los efectos anteriores, conjunta o separadamente, pueden aprovecharse para mejorar el efecto de las cales sobre

ciertos suelos cuando se van a tratar con otros ligantes, como suele ser el caso del cemento.

En el caso que los suelos a tratar con cemento, para su colocación de bases, sub bases o sub rasante, presenten humedades excesivas y/o tengan cierta plasticidad, la corrección previa de estos problemas mediante un leve tratamiento con cal (porcentajes en 1 por ciento), permite optimizar la acción del cemento sobre el suelo, reduciendo su dosificación necesaria y bajar los costos de la obra.

#### **2.2.3.6. VENTAJAS DEL USO DE CAL COMO ESTABILIZADOR DE SUELO PARA CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR.**

El tratamiento de suelos plásticos con cal viva, hidratada o cal en forma lechada en cualquier obra de movimiento de tierras (laderas, terraplenes, bases etc.), correspondiente a cualquier tipo de estructura (viales, aeropuertos, ferrocarriles, etc.), permiten obtener una serie de ventajas técnicas y económicas que se citan a continuación.

- a) Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles del lugar, disminuyendo la necesidad de préstamo. Este aspecto, además de disminuir las afecciones medioambientales, disminuye los costos de movimientos de tierra, incidiendo principalmente en el transporte de materiales y en el tiempo de ejecución.
- b) El empleo de la cal incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su CBR.
- c) Otra ventaja muy importante de la estabilización con cal frente al empleo de otros conglomerantes, es que no presenta un fraguado

rápido, lo cual permite una gran flexibilidad en la organización de las distintas fases de ejecución: extendido, mezclado y compactado.

d) Permite consistencia estable de los suelos bajo el efecto de las lluvias prolongadas.

e) Favorece al secado de los suelos muy húmedos.

f) Reduce la plasticidad.

g) Beneficia la compactación de los suelos con humedades muy altas.

h) Reducción de cambios volumétricos.

No obstante, para evitar la recarbonatación previa de la cal, debe realizarse el mezclado con el suelo antes de 8 horas, desde el momento del extendido. Además, con el fin de evitar la recarbonatación de la cal y su arrastre por el viento, conviene mezclar lo antes posible la cal extendida.

#### **2.2.3.7. DISEÑO DEL TRATAMIENTO.**

El objetivo ya una vez analizada la aptitud de los suelos al tratamiento con cal, será el de diseñar la dosificación de la mezcla suelo-cal óptima, en función de las características particular del suelo y de los objetivos a lograr.

Dependerá, por tanto, del efecto perseguido, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o una estabilización de la capa a largo plazo.

### 2.2.3.8. ANALISIS PREVIO DE LOS SUELOS.

El primer paso será identificar completamente las características de los suelos a emplear para decidir si su estabilización con cal es la solución más recomendable.

En este sentido, los ensayos recomendados de realizar serán las siguientes:

- **Ensayos de identificación de suelos:** (Límites Atterberg, granulometría, expansión, humedad natural, materia orgánica entre otros), con los resultados obtenidos se podrán clasificar los suelos.
- **Ensayos de comportamiento:** Los dos factores fundamentales son el de la compactación (Proctor normal o modificado) y la capacidad portante (C.B.R. y/o resistencia a compresión simple).

En función de los resultados de estos ensayos y de los objetivos a conseguir, se valorará la aptitud de los suelos a su tratamiento con cal. A este respecto, cabe mencionar que el tratamiento con cal será más beneficioso para un suelo cuanto mayor sea su proporción de finos y su plasticidad. En general, puede decirse que aquellos suelos con un índice de plasticidad igual o superior a 10, son susceptibles de mejorar sus propiedades por acción de la cal.

### 2.2.3.9. FORMULA DE TRABAJO.

Una vez considerado que el suelo es apto para su tratamiento con cal, se pasa a determinar la fórmula de trabajo para la mezcla suelo-cal que permita conseguir los objetivos propuestos.

Para ello, la fórmula de trabajo se obtiene a partir del análisis de diferentes parámetros del suelo a estabilizar mediante una serie de ensayos, los cuales serán determinados bajo las especificaciones de las normas ASTM y AASHTO respectivas para cada uno. Los suelos serán analizados con diferentes porcentajes de cal a fin de encontrar un porcentaje óptimo de la misma, para el suelo en particular estudiado.

En el caso de buscar una estabilización a largo plazo, deberá de analizarse una serie de parámetros más detalladamente, como la resistencia a la compresión inconfiada con probetas confeccionadas con moldes utilizados para el ensayo proctor, y las cuales son ensayadas a diferentes edades y la capacidad portante de la mezcla suelo-cal.

Un método muy útil por su rapidez y fiabilidad es basar el estudio para la estabilización en el método del PH, el hecho por Eades y Grim (1966), especificado en la norma ASTM C 977 (preparación de muestra) y el desarrollo del ensayo regido por la norma ASTM D 6276.

Este procedimiento se basa en el hecho de que la adición de cal necesaria para estabilizar un suelo es aquella que garantiza el mantenimiento de un elevado pH que permita el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Para ello, se ensayan muestras con distintos porcentajes de cal, midiéndose el pH en determinadas condiciones. El porcentaje óptimo es aquel que permite alcanzar el valor de 12.4.



## 2.2.4. CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO (AFIRMADO)

### 2.2.4.1. GENERALIDADES SOBRE CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD

Las carreteras en el Perú tienen diversas clasificaciones:

- Clasificación de las Carreteras según su Función
- Clasificación de Acuerdo a la Demanda
- Clasificación según Condiciones Orográficas

La que nos interesa es la clasificación de las carreteras según su función y la clasificación de acuerdo a la demanda las mismas se detallan a continuación:

*Tabla 5 Clasificación de carreteras según su función*

GENÉRICA	DENOMINACION EN EL PERU
RED VIAL PRIMARIA	1. SISTEMA NACIONAL Conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
RED VIAL SECUNDARIA	2. SISTEMA DEPARTAMENTAL Constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales
RED VIAL TERCIARIA O LOCAL	3. SISTEMA VECINAL Compuesta por: • Caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones. • Caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblacionales.

*Fuente: Manual de Diseño Geométrico para Carreteras dg – 2001*

#### 2.2.4.2. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA DEMANDA

**AUTOPISTAS.-** Carretera de IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos que proporciona flujo vehicular completamente continuo. Se le denominará con la sigla A.P.

**CARRETERAS DUALES O MULTICARRILES.-** De IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos. Se le denominará con la sigla MC (Multicarril).

**CARRETERAS DE PRIMERA CLASE.-** Son aquellas con un IMDA entre 4000-2001 veh/día de una calzada de dos carriles (DC).

**CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE.-** Son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan entre 2000-400 veh/día.

**CARRETERAS DE TERCERA CLASE.-** Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día. El diseño de caminos del sistema vecinal < 200 veh/día se rigen por las Normas emitidas por el MTC para dicho fin.

**TROCHAS CARROZABLES.-** Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo

de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo. Según el manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito se distinguen tres tipos de afirmado y su aplicación está en función del IMD

**AFIRMADO TIPO 1:** Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del supervisor. El espesor de la capa será el definido en el presente Manual para el Diseño de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito. Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito, clases T0 y T1, con IMD proyectado menor a 50 vehículos día.

**AFIRMADO TIPO 2:** Corresponde a un material granular natural o de grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del supervisor. Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito, clase T2, con IMD proyectado entre 51 y 100 vehículos día.

**AFIRMADO TIPO 3:** Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo o por chancado con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la

plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del supervisor. Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito, clase T3, con IMD proyectado entre 101 y 200 vehículos día.

Tabla 6 Tipo y Afirmado

Porcentaje que pasa el tamiz	Trafico T0 y T1 Tipo 1 IMD<50 Veh.	Trafico T2 Tipo 2 51-100 Veh.	Trafico T3 Tipo 3 101-200 Veh.
50mm (2")	100	100	
37.5mm (1½")		95-100	100
25mm (1")	50-80	75-95	90-100
19mm (¾")			65-100
12.5mm (½")			
9.5mm (3/8")		40-75	45-80
4.75mm (N°4)	20-50	30-60	30-65
2.36mm (N°8)			
2.0mm (N°10)		20-45	22-52
4.25µm (N°40)		15-30	15-35
75µm (N°200)	4-12	5-15	5-20
<b>Indice de Pasticidad</b>	<b>4-9</b>	<b>4-9</b>	<b>4-9</b>

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (EG-CBT 2008)

Para el caso del porcentaje que pasa el tamiz 75 µm (N° 200), se tendrá en cuenta las condiciones ambientales locales (temperatura y lluvia), especialmente para prevenir el daño por la acción de las heladas. En este caso será necesario tener porcentajes más bajos al especificado que pasa el tamiz 75 µm (N° 200), por lo que, en caso no lo determine el proyecto, el supervisor deberá fijar y aprobar los porcentajes apropiados

### 2.2.4.2. REQUISITOS MINIMOS PARA AFIRMADO

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1” (2.5 mm)

*Tabla 7 Ensayos y Frecuencias*

Material o Producto	Propiedades y características	Metodo de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Afirmado	Granulometria	MTC E 204	D 422	T 27	1 cada 750m <sup>3</sup>	Cantera
	Limites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 cada 750m <sup>3</sup>	Cantera
	Abrasion Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	1 cada 2000m <sup>3</sup>	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	1 cada 2000m <sup>3</sup>	Cantera
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	1 cada 750m <sup>3</sup>	Pista
	Compactacion	MTC E 117	D 1556	T 191	1 cada 250m <sup>3</sup>	Pista
MTC E 124		D 2922	T 238			

*Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013)*

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **GUIA:** Lista impresa de datos o noticias referentes a determinada materia. ((DRAE), 2014)
- **ESTABILIZACION:** Es el proceso con el que se pretende hacer más estable a un suelo; mejorando y cambiando las propiedades del suelo. (HUESO MALDONADO & ORELLANA MARTINEZ, 2009).
- **SUELO ESTABILIZADO:** Son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionales un estabilizador como cal, cemento o un aditivo químico o iónico. (CONSULTORES, 2013)

- **CAL HIDRATADA:** también denominadas cales apagadas, son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas. (SANPEDRO RODRIGUEZ, 1997)
- **CAMINO VECINAL:** Vía de servicio destinada fundamentalmente para acceso a chacras. (EL MINISTERIO DE TRANSPORTES, 2001)
- **INTENSIDAD VEHICULAR:** El volumen de tránsito promedio ocurrido en un período de 24 horas promedio del año. (EL MINISTERIO DE TRANSPORTES, 2001)
- **C.B.R:** (California Bearing Ratio), consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón. (HUESO MALDONADO & ORELLANA MARTINEZ, 2009)
- **AASHTO:** La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, 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.
- **PH:** (Potencial de Hidrogeno) es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O]^+$  presentes en determinadas disoluciones. (UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, 2013)



### 3.1. TRABAJO EXPERIMENTAL

#### 3.1.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La presente investigación, de acuerdo a las características del problema, los objetivos y la hipótesis, se enmarco dentro del tipo experimental, donde el diseño de la investigación es experimental. Debido a que se manipula de forma intencional una acción para analizar sus posibles resultados.

El grupo experimental estuvo conformado por 2 canteras de la Provincia de San Román con  $IP > 12\%$ .

La representación gráfica es la siguiente:

$$G_1 : O_1 X O_2$$

Dónde:

$G_1$  : Grupo experimental.

X: Estabilización del suelo plástico con Cal.

$O_1$ : Test antes del experimento.

$O_2$ : Test después del experimento.

Este diseño con grupo experimental permitió la comparación de resultados Pre-test y Post-test, con un alto grado de probabilidad, ante la adición de la cal al suelo convencional (variable independiente), ha sido factor determinante en los la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo (C.B.R, Plasticidad y Expansión) (variable dependiente).



### 3.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.1.2.1. Población

La población objeto de estudio está constituida por las canteras de suelos plástico ( $IP \geq 12$ ) de la Provincia de San Román en actual explotación para la construcción de carreteras, las cuales serán sujetas a la evaluación y análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.

#### 3.1.2.2. Muestra

Para la prueba de hipótesis, la cantidad de muestra se determinó a criterio no probabilístico, siendo objeto de estudio 2 canteras de la ciudad de Juliaca cuya ubicación se muestra en la ficha de inventario de canteras (ANEXO 8.4), provincia de San Román, departamento de Puno. A continuación se muestra la cantidad de muestra extraída de cantera.

*Tabla 8 Cantidad de muestra por cantera*

CANTERA N°1 "SALIDA AREQUIPA"		CANTERA N°2 "SALIDA PUNO"	
ENSAYO	CANTIDAD (Kg)	ENSAYO	CANTIDAD (Kg)
CONTENIDO DE HUMEDAD	1 kg	CONTENIDO DE HUMEDAD	1 kg
LIMITES DE CONSISTENCIA	2 Kg	LIMITES DE CONSISTENCIA	2 Kg
GRANULOMETRIA	5 Kg	GRANULOMETRIA	5 Kg
ENSAYO DE PROCTOR	50 Kg	ENSAYO DE PROCTOR	50 Kg
ENSAYO DE CBR	180 Kg	ENSAYO DE CBR	180 Kg
TOTAL	238 Kg	TOTAL	238 Kg

*Fuente: Elaboración propia*

**3.2. SISTEMA DE VARIABLES**

**3.2.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

- **Variable Independiente:**

X1: Suelo Común (Convencional o patrón).

- **Variable Dependiente:**

Y1: Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con Cal.

*Figura 5 Relacion de Variables*



**3.2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

*Tabla 9 Operacionalizacion de variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Variable independiente: X1: suelo convencional	FISICAS	- Contenido de humedad - Granulometría - Peso unitario - Peso especifico	- Escala de calificación de intervalo
Variable dependiente: Comportamiento de las propiedades mecánicas		- California Bearing Ratio (C.B.R)	- De razón

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3. MATERIAL EXPERIMENTAL

#### 3.3.1. MATERIALES

##### a. CAL

Según la norma del MTC en su sección 307B Suelo estabilizado con cal especifica que la cal que se use para la construcción de Suelo – Cal, puede ser Cal viva o Cal Hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977.

Teniendo en cuenta esta disposición la cal que se usa en la investigación, es la Cal Hidratada de la compañía ECOCAL con sede en Puente Piedra, Lima - Perú. Con las siguientes especificaciones:

<b>Producto:</b>	Cal Hidratada
<b>Nombre comercial:</b>	Ecocal
<b>Nombre Técnico:</b>	Cal Apagada o Hidróxido de Calcio
<b>Fórmula Química:</b>	Ca (OH) <sub>2</sub>
<b>Composición:</b>	Hidróxido de Calcio
<b>Descripción del producto:</b>	Polvo blanco fino, de granulometría uniforme.
<b>Usos:</b>	estabilización de suelos
<b>Características Organolépticas:</b>	Olor y sabor característico, cáustico.
<b>Características físico-químicas:</b>	
- Calcio Aprovechable como CaO:	67% - 73%
- Calcio Aprovechable como Ca(OH) <sub>2</sub> :	88.5% - 96%
- Óxido de Magnesio en porcentaje (%MgO):	0.27% - 0.56%
- Óxido de Hierro (III) (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ):	0.03% - 0.08%
- Óxido de Silicio (IV) (SiO <sub>2</sub> ):	0.05%-1.16%
- pH:	12/14.
- Retenido en malla 200:	7 % Máx.

- Humedad: 3% Máx.

**Almacenamiento:**

- Protéjase el saco contra daños físicos.
- Almacénese en lugar seco, alejado del agua y la humedad.

**Empaques:** Sacos de Polipropileno con bolsa interior de Polietileno de 40 Kg

**Seguridad y Manejo:**

- Para la manipulación del producto se requiere el uso de mascarilla con capacidad de filtrado para polvo.
- Evitar el contacto con los ojos.

**Información Adicional:**

- Incompatible con ácidos fuertes, tales como: Clorhídrico, Sulfúrico y Nítrico.
- Evitar el contacto del producto con Anhídrido Maléico, Nitroetano, Nitrometano, Nitropropano, Nitroparafinas y Fósforos, ya que se producen reacciones violentas.
- Soluble en agua, sin reacción.

**b. Material de Cantera**

La ubicación de las canteras utilizadas en la presente investigación que son objeto de estudio se detalla a continuación.

**b.1. Cantera Salida Arequipa (Chullunquiani)**

- a) Ubicación.-** A 5.6 (cinco) kilómetros al Sur de la ciudad de Juliaca.
- b) Acceso.-** El acceso es normal durante todas las épocas del año, tomando la vía Juliaca a Arequipa (pavimentada) hacia el lado derecho en 1 (uno) kilómetro de afirmado.
- c) Situación Legal.-** Esta cantera es propiedad Privada

**d) Volumen de Explotación.-** Se ha verificado el volumen estimado mediante la ejecución de calicatas, y por la estratigrafía del terreno observada, debido a su constante explotación se ha anotado la profundidad de corte (1.50m), extensión a explotar (95m x 115m) y desbroce (0.20m), considerando un factor de esponjamiento (1.20); se tiene el siguiente resultado estimado:

**e) Potencia Bruta:**

$$P.B. = (95m \times 115m \times 1.5 m \times 1.20) = 19,665.00 \text{ m}^3 = 100\%$$

**f) Potencia Neta:**

$$P.N. = 19,665.00 \text{ m}^3 - (0.20 \times 95m \times 115m \times 1.20)$$

$$P.N. = 19,665.00 \text{ m}^3 - 2185.00 = 17480.00 \text{ m}^3$$

$$P.N. = (17,480 / 19,665.00) = 89\%$$

*Ilustración 1 Cantera Chullunquiani*



*Fuente: Elaboracion Propia*

## **b.2. Cantera Salida Puno (Taparachi)**

**a) Ubicación.-** A 4 (cuatro) kilómetros al Sur Oeste de la ciudad de Juliaca. Urbanización Taparachi.

**b) Acceso.-** El acceso es normal durante todas las épocas del año tomando la vía Juliaca a Puno (Av Martires del 4 de Noviembre) hacia el lado derecho en 1 (uno) kilómetro de afirmado

**c) Situación Legal.-** Esta cantera es propiedad de la Municipalidad Provincial de San Román.

**d) Volumen de Explotación.-** Se ha verificado el volumen estimado mediante la ejecución de calicatas, y por la estratigrafía del terreno que observada, debido a su constante explotación se ha anotado la profundidad de corte (1.50m), extensión a explotar (340m x 270m) y desbroce (0.2m), considerando un factor de esponjamiento (1.20); se tiene el siguiente resultado estimado:

**e) Potencia Bruta:**

$$P.B. = (340m \times 270m \times 1.5 m \times 1.20) = 165,240.00 m^3 = 100\%$$

**f) Potencia Neta:**

$$P.N. = 165,240.00m^3 - (0.18 \times 340m \times 270m \times 1.20)$$

$$P.N. = 165,240.00 m^3 - 16,524.00m^3 = 148,716.00m^3$$

$$P.N. = (148,716.00/165,240.00) = 90\%$$

*Ilustración 2 Cantera Taparachi*



*Fuente: Elaboracion Propia*

Las canteras elegidas para realizar la presente investigación tuvieron relevancia debido a que ambas cumplen con la Plasticidad requerida ( $IP \geq 12\%$ ).

### 3.3.2. MÉTODOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos se dio en dos faces:

- Trabajos de campo (Primesa Face).

- Trabajos de Laboratorio (Segunda Face).

#### a. TRABAJOS DE CAMPO

En los trabajos de campo, se realizó los trabajos de toma de muestras de las canteras anteriormente mencionadas, en zonas aun no alteradas se procedio a realizar calicatas (03), cuyo procedimiento se describe a continuación:

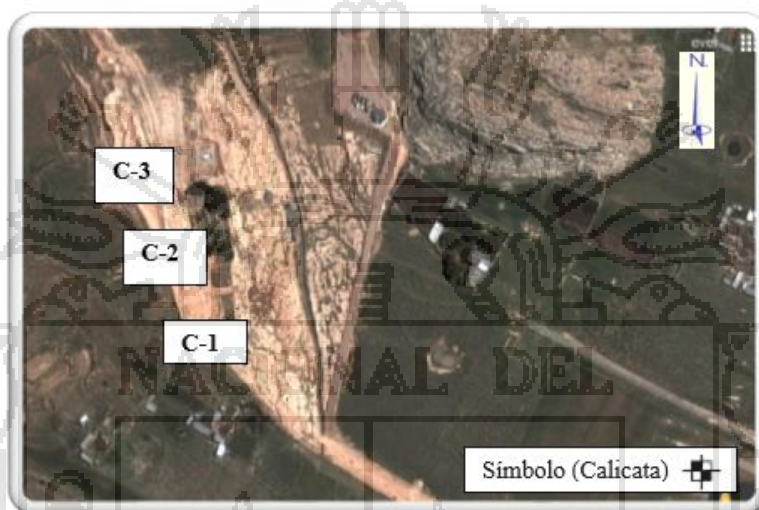
- Se ubicaron los lugares donde se van a realizar las calicatas.
- Posteriormente se quitó la capa o suelo de superficie vegetal (este trabajo es conocido comúnmente como desbroce)
- Se excavo la calicata hasta una profundidad apropiada (1.5m), asegurando un diámetro que garantiza sacar el material libremente.
- Extendí una lona impermeable al pie del talud de la calicata.
- Seguidamente excave un canal de sección uniforme desde la parte superior hasta el fondo, para luego depositar el material en la lona.
- Para posteriormente recoger y ensacar todo el material separado, para estar seguro que la muestra contenga las proporciones correctas.

En zonas de talud cuyo corte es visible se procedio a extraer la muestra de los taludes puesto que están en explotación. Se obtuvo muestras inalteradas en cantidades significativas, para su posterior traslado al laboratorio para su análisis respectivo, se tomaron muestras inalteradas y alteradas de un total de aproximadamente 250 Kg. (Por cantera) para estudios de clasificación, límites de consistencia, Próctor, CBR.

Como parte del programa de exploración geotécnica se realizaron las siguientes tareas:

En la cantera Chullunquiani, se realizaron 03 calicatas denominadas C-1, C-2 y C-3 de 1.5m de profundidad, de los cuales se obtuvieron aproximadamente 250Kg. de muestra inalterada, estos se encuentran ubicadas tal como muestra la siguiente imagen:

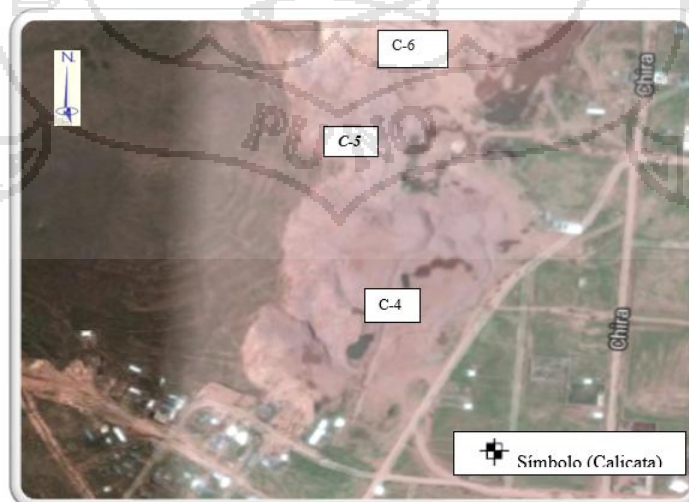
*Ilustración 3 Ubicacion de Calicatas en cantera 01*



*Fuente: Google Earth*

De la misma forma en la Cantera Taparachi, se realizaron 03 calicatas denominadas C-4, C-5 y C-6 de 1.5m de profundidad, de los cuales se obtuvieron aproximadamente 250Kg. de muestra inalterada, estos se encuentran ubicadas tal como muestra la siguiente imagen:

*Ilustración 4 Ubicacion de Calicatas en la cantera 02*



*Fuente: Google Earth*



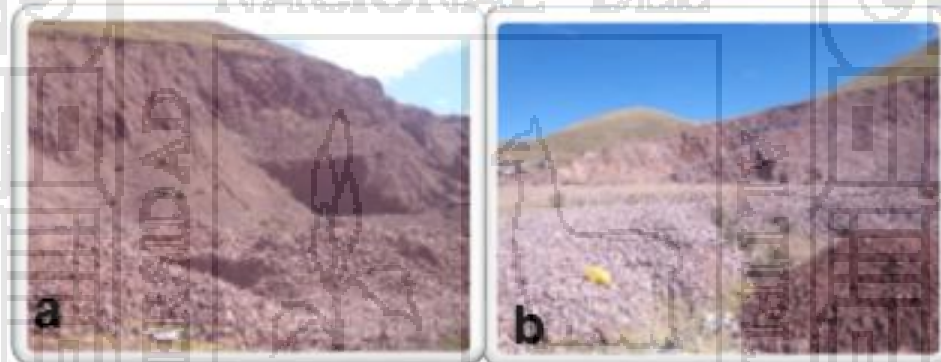
En las siguientes imágenes se pueden apreciar los trabajos realizados en las canteras.

*Ilustración 5 Exploración de Cantera 01*



*a y b muestran las cantera #1 "canteara Chullunquiani"*

*Ilustración 6 Exploración de la cantera 02*



*a y b muestran las cantera #2 "canteara Taparachi"*

## **b. TRABAJOS DE LABORATORIO**

Una vez extraída las muestras de cada una de las canteras, el siguiente paso fue la de remitirlas al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, para realizar los respectivos ensayos de laboratorio, tal como se puede ver en el siguiente ítem.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la

Universidad Nacional del Altiplano. Cada uno de estos ensayos se realizó de acuerdo a las especificaciones que regulan las normas, fundamentalmente las establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM) de los Estados Unidos de América, como las normas del MTC Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000) y la Norma Técnica Peruana, siguiendo un procedimiento adecuado, sencillo y reproducible. Los ensayos realizados son los siguientes:

### **Ensayos estándar**

- Contenido de Humedad MTC E- 108-2000.
- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107
- Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E110
- Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E111
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación de Suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282
- Contenido Sales Solubles Totales , MTC E219

### **Ensayos Especiales**

- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E132
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC-E115

El procedimiento realizado en la investigación para cada cantera se detalla a continuación.

#### **b.1. contenido de Humedad**

El objetivo es la determinación del contenido de agua en una muestra de suelo expresada en porcentaje, según el procedimiento establecidos

en las normas ASTM D653-90, NTP 339.127, MTC E 108 – 2000.

Obteniéndose los resultados correspondientes.

### Descripción breve del ensayo

- Se toman 3 muestras y se procede al pesado de la muestra húmeda, registrado los respectivos pesos se procede a llevarla en el horno a temperatura constante por 24hrs, luego se procede a sacar las muestras del horno y una vez enfriada la muestra se procede a tomar el peso de la muestra seca y por diferencia de pesos se obtiene la cantidad de agua en la muestra y se calculan los contenidos de humedad respectivas.

*Ilustración 7 Contenido de Humedad*



*(a. y b. registro de peso de la muestra húmeda y seca); Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)*

Concluido este ensayo se procedió a realizar el siguiente ensayo (Análisis Granulométrico)

### b.2. Análisis granulométrico por tamizado.

El objetivo es clasificar un suelo según los tamaños de sus partículas, determinar que grupos comprenden a los suelos gruesos y que grupos a los suelos finos, poder estimar si el suelo está mal o bien graduado, según

el procedimiento establecidos en las normas ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107- 2000. Obteniéndose los siguientes correspondientes.

### Descripción breve del ensayo

- Se cuartear la muestra seca luego se pesa y registra el peso total de la muestra seca, para que de esta manera se pueda tener una porción representativa del material de cantera, seguidamente se lava la muestra representativa con agua limpia a través del tamiz N° 200, repitiendo esta operación hasta que el agua se observe clara, para luego secar 18 hrs la muestra lavada, en el horno a una temperatura de 105°C. Finalmente seca la muestra, se efectúa el tamizado a través del juego de tamices ordenados de forma decreciente, agitando vigorosamente con un movimiento rotatorio horizontal y vertical. Pesar el material retenido en los diferentes tamices, con estos datos se procede a la clasificar el suelo y graficar las curvas granulométricas respectivas.

*Ilustración 8 Procedimiento Experimental Granulometria*



(a. Lavado de Muestra por Tamiz N°200), (b y c. Tamizado de la muestra) y (d. registro de peso de la muestra retenida en cada tamiz); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

Una vez realizado el análisis granulométrico, se procedió a realizar los ensayos de límites de consistencia para cada una de las canteras.

### **b.3. Limite Líquido**

El objetivo es obtener el contenido de humedad expresado en porcentaje %, cuando éste se halle en el límite entre el estado plástico y el estado semilíquido, según el procedimiento establecidos en las normas ASTM D 4318 y AASHTO T 89, MTC E 110- 2000. Se realizaron el ensayo de Limite Líquido al 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% de Cal para cada cantera. Obteniéndose los resultados correspondientes.

#### **Descripción breve del ensayo**

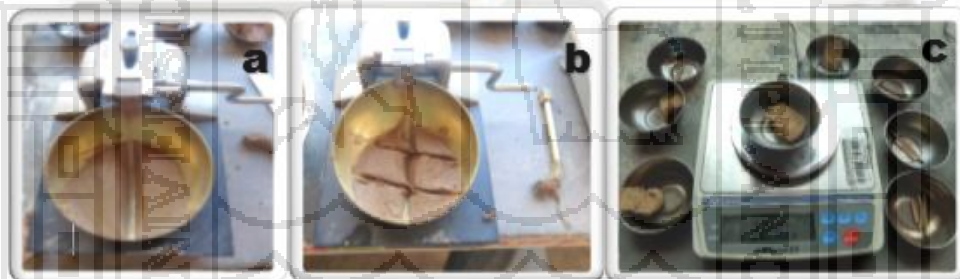
- Se tamiza la muestra seca a través de la malla N° 40 hasta obtener 2000 gr. aproximadamente y descartar el material retenido en él. Seguidamente mezclar el material en el envase de porcelana con agua hasta la consistencia de una pasta espesa y suave luego se deja saturar la muestra por 24hrs. Saturada la muestra se colocar el material desde el envase a la Cuchara de la copa de Casagrande, llenando un tercio del total aproximadamente. Usando la espátula se extiende y empareja el material, formando una torta circular de 1 cm. en el punto de máxima profundidad. Con el acanalador se hace una ranura firme a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la mezcla contenida en la cuchara, para evitar el desgarramiento del suelo a lo largo de la ranura, se hace varias pasadas. Finalmente se girar la manivela a razón de 2 vueltas por segundo; anotar los golpes necesarios para que las paredes de la ranura se unan en el fondo de la misma  $\frac{1}{2}$ " y obtener la humedad de la muestra (W%).

*Ilustración 9 Procedimiento Experimental Limite Liquido*



(a. Mezclado de Muestra saturada con Cal), (b. Muestra en la Cuchara de Casagrande) y (c. Ranurado de la muestra); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

*Ilustración 10 Pocedimiento Experimental Limite Liquido (Cuchara de Casagrande)*



(a. Muestra ranurada), (b. Muestra fallada y porción para obtener la humedad) y (c. Contenido de Humedad de las muestras ensayadas); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

#### **b.4. Limite Plastico**

El objetivo es hallar el contenido de humedad expresado en porcentaje cuando éste se halle en el límite entre el estado plástico y el estado semisólido del suelo, según el procedimiento establecidos en las normas ASTM D 424, MTC –E 112-2000. . Se realizaron el ensayo de Limite Plastico al 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% de Cal para cada cantera. Obteniéndose los resultados correspondientes

### Descripción breve del ensayo

- Se emplea material usado para el límite líquido, verificando una consistencia tal que pueda ser rolado entre los dedos de la mano y el vidrio esmerilado. Seguidamente se toman aproximadamente dos gramos de material y se forma bastones cilíndricos de modo que lo podamos rodar sobre el vidrio esmerilado para quitarle humedad. Luego se inicia el rolado, a razón de 80 a 90 ciclos por minuto. Finalmente el límite plástico (humedad), se obtiene al formar bastones de 3.2 mm de diámetro, en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales.

Una vez realizado los ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado y límites de Atterberg, se pudo clasificar el tipo de suelo de cada una de las canteras correspondientes.

*Ilustración 11 Procedimiento Experimental Limite Plastico*



(a. Realización del ensayo), (b. Muestra de 1/8" ) y (c. Contenido de Humedad de las muestras ensayadas); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

### b.5. Proctor modificado

El objetivo es determinar la máxima densidad seca de un suelo; comprender el término de humedad óptima y la dependencia de ambos

factores, según el procedimiento establecido en las normas ASTM D 1557 Y MTC E- 115-2000 Obteniéndose los resultados correspondientes.

### Descripción breve del ensayo

- Se realizó el ensayo para cada cantera, sin la adición de Cal, para ver las condiciones iniciales del Contenido de Humedad Óptimo y de la Máxima Densidad Seca. Se requiere de 30 kg en promedio de material de ensayo, el cual debe ser secado al aire para un mejor manejo y luego disgregar los terrones de material. Tamizar el material por las mallas  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N° 4. De acuerdo al ensayo previo de granulometría, se seleccionó el método de ensayo a practicar y preparar cuatro puntos de ensayo en peso del material a utilizar. Para ambas canteras se utilizó en metoo C. Colocar el material de 6 kg en la bandeja y se le adiciono el 2% de agua (respecto al peso de la muestra) para revolverlo manualmente con el material hasta lograr una mezcla uniforme. Dividir la mezcla en cinco partes proporcionalmente iguales y depositar con la cuchara metálica una de, ellas en el molde de ensayo correspondiente.

*Ilustración 12 Procedimiento Experimental Proctor*



(a. Obtención del método a utilizar), (b. Muestra de 6Kg y Contenido óptimo de Agua), (c. Mezclado de muestra con agua) y (d. División de muestra en 5 partes); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)



- Para luego proceder a compactarlo con el pisón en caída libre y en el número de golpes que especifica el método determinado y repartidos uniformemente en toda la superficie del material. Repetir nuevamente la misma operación con las otras cuatro partes de la muestra del material. Compactadas las cinco partes de la muestra, retirar la extensión desmontable y proceder a enrasarla con la regla metálica a nivel del borde del molde. Pesar la muestra húmeda en el molde sin extensión y registrar el peso obtenido. Luego desechar el material del molde para su limpieza y de la parte central separar en una tara metálica una porción de muestra para su secado en el horno, para posteriormente determinar su contenido de humedad. Todo el procedimiento descrito anteriormente se realiza para obtener un punto del gráfico, por lo que se deberá repetir la misma operación para otros tres puntos adicionales como mínimo, incrementando para cada nuevo punto sucesivamente el 2% de agua (respecto al peso de la muestra).

Una vez terminado este procedimiento, se realizó el ensayo Proctor Modificado para la segunda canteras (Taparachi), al 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de Cal siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente.

*Ilustración 13 Procedimiento Experimental Proctor (Compactado)*



- (a. Compactado de la muestra), (Enrasado de la muestra) y (c. Contenido de Humedad de las muestras); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

### **b.6. C.B.R**

El objetivo es determinar el índice relativo de soporte de un suelo en condiciones de densidad controlada (compactado) ó un suelo inalterado, según el procedimiento establecido en las normas ASTM D1883 Y MTC E-132-2000. Se realizaron CBRs al 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10%. Para cada cantera. Obteniéndose los resultados correspondientes.

#### **Descripción breve del ensayo**

- Se inicia el ensayo tomando en el Contenido de Humedad Óptimo, obtenido en el ensayo de Proctor Modificado, al 0% de Cal para las 2 canteras en estudio. Seguidamente se preparan tres muestras secas de 6Kg cada uno y tres moldes de CBR con sus respectivos añillos de extensión (collarin). Preparamos en una probeta una cantidad de agua (óptimo de humedad) determinado para la máxima densidad seca en el ensayo de Próctor. Cantidad de agua que será igual para las tres muestras. Se removió en una bandeja la muestra con el agua hasta lograr una mezcla uniforme y dividirla en cinco partes proporcionales. Luego colocamos dentro del molde el disco espaciador y un papel filtro sobre, este para adicionar muestra y someterlas a una compactación de 56 golpes con el pistón. Quitamos la extensión del molde y enrasamos la muestra con la regla metálica con el borde del molde y con la parte sobrante depositarla en una tara para su determinación del contenido de humedad.

*Ilustración 14 Procedimiento Experimental CBR (Compactado)*



(a. Muestra de Cal, Muestra y agua), (b. Mezclado de Cal, Suelo y agua), (c. Colocacion de muestra en el molde correspondiente) y (d. Compactacion de la muestra);  
Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

*Ilustración 15 Procedimiento Experimental CBR (Enrasado)*



(a. Enrasado de la muestra), (b. Pesado de la muestra enrasada); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

- Se invierte el molde colocándole previamente un papel filtro y retirar el disco espaciador para luego proceder a registrar el peso de la muestra húmeda. Cargar sobre la muestra el vástago graduable y las placas metálicas de 10 lb y colocar el molde en un tanque de agua en posición horizontal y a nivel, para montar el trípode y el extensómetro para registrar la lectura inicial. Repetir todo el procedimiento descrito hasta ahora para las, otras dos muestras de suelo, con la diferencia que el proceso de compactación con el pisón para la segunda muestra será a

25 golpes y para la tercera muestra a 12 golpes. Visualizar la lectura en el extensómetro cada 24 horas, de cada molde sumergido y anotarlas en los formatos correspondientes. Al cabo de 96 horas registrar la lectura final, para calcular la expansión del material. La expansión total registrada se expresa en porcentaje referida a la altura inicial que tuvo la muestra. Al cabo de los cuatro días, extraer los tres moldes sumergidos y dejar drenado el agua libre que queda por un tiempo de 15 minutos, cuidando de no alterar la muestra para luego proceder a la prueba de penetración. Colocar el molde en la prensa con su respectiva sobrecarga, asentar el pistón sobre la muestra, verificando el cero en el extensómetro que mide la penetración para la aplicación de la carga y el extensómetro que va en el anillo para medir la carga. Se inca el pistón a velocidad constante de penetración de 1.27mm/min y se anota las lecturas del dial de carga para penetración de 0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 pulgadas.

- Una vez penetrado el pistón en la muestra (0.5"), se retira el molde de la prensa, se quitan las pesas y la base metálica, para finalmente desechar el material. Una vez sometida la muestra a penetración, con los resultados obtenidos se realizaron los cálculos para cada cantera (Taparachi y Chullunquiani) al 2%, 4%, 6%, 8% y 10%. El cálculo se detalla a continuación:

*Ilustración 16 Procedimiento Experimental (Lectura de Expansion, Rotura de CBR)*



- (a. Lectura de Expansion), (Saturacion de los moldes de CBR por 72 hrs), (c. Rotura de los moldes de CBR) y (Muestras después de Romperlas en la Presa); Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

**CÁLCULO DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE DE LA CANTERA**

**SALCEDO:**

**a) Calculo del Contenido de Humedad Optima y la Máxima Densidad**

**Seca**

**a.1) Densidad del Suelo Húmedo:**

Volumen de los moldes (cm<sup>3</sup>):

Altura del molde 1 = 11.44cm      Diámetro del molde 1 = 15.30cm

Altura del molde 2 = 11.44cm      Diámetro del molde 2 = 15.30cm

Altura del molde 3 = 11.44cm      Diámetro del molde 3 = 15.30cm

Altura del molde 4 = 11.44cm      Diámetro del molde 4 = 15.30cm

$$\text{Volumen 1} = \text{Volumen 2} = \text{Volumen 3} = \text{Volumen 4} = \pi D^2 \frac{h}{4}$$

$$\text{Volumen} = 3.1416 * 15.30^2 \frac{11.44}{4} = 2103.30 \text{cm}^3 \dots (1)$$

*Tabla 10 Densidad de Suelo Humedo Proctor*

<b>Peso Suelo Humedo + Molde (2)</b>	gr.	10203	10488	10624	10569
<b>Peso del Molde (3)</b>	gr.	5867	5867	5867	5867
<b>Peso del Suelo Humedo (2)-(3)=4</b>	gr/cc	4336	4621	4757	4702
<b>Densidad del Suelo Humedo (4/1)=(5)</b>	gr/cc	2.06	2.20	2.26	2.24

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

Peso suelo Húmedo más Molde..... (2)

    Molde 1= 10203gr

    Molde 2= 10488gr

    Molde 3= 10624gr

    Molde 4= 10569gr

Peso del Molde..... (3)

    Peso Molde 1= 5867gr

    Peso Molde 2= 5867gr

    Peso Molde 3= 5867gr

    Peso Molde 4= 5867gr

Peso del suelo Húmedo..... (4)

    Peso del suelo Húmedo 1 = 10203gr-5867gr = 4336gr

    Peso del suelo Húmedo 2 = 10488gr-5867gr = 4621gr

Peso del suelo Húmedo 3 = 10624gr-5867gr = 4757gr

Peso del suelo Húmedo 4 = 10569gr-5867gr = 4702gr

Densidad del suelo húmedo..... (5)

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4336\text{gr}}{2103.30\text{cm}^3} = 2.06 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4621\text{gr}}{2103.30\text{cm}^3} = 2.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4757\text{gr}}{2103.30\text{cm}^3} = 2.26 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4702\text{gr}}{2103.30\text{cm}^3} = 2.24 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

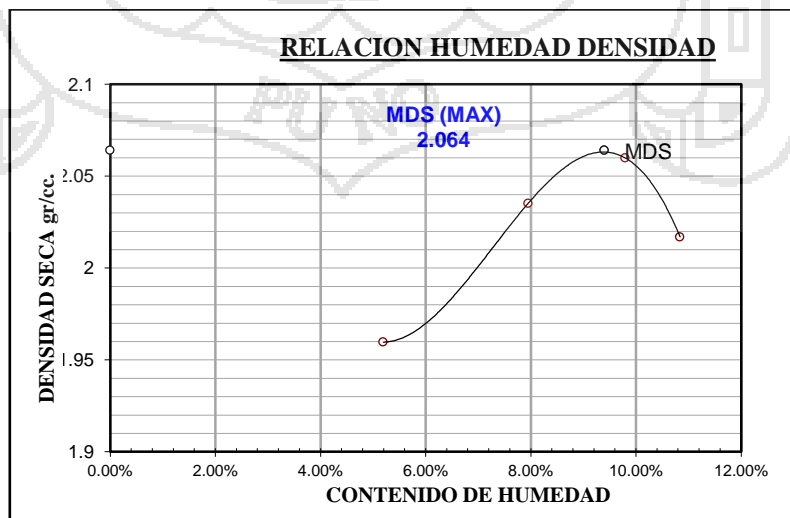
**a.2) Densidad del Suelo Seco:**

*Tabla 11 Densidad de Suelo Seco Proctor*

Capsula No	No	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
Suelo Humedo + Capsula (6)	gr.	55.63	52.71	61.40	52.07	85.76	84.29	55.80	67.54
Peso del Suelo Seco + Capsula (7)	gr.	53.72	50.97	58.10	49.52	80.09	78.64	52.18	63.00
Peso del Agua (6)-(7)=8	gr.	1.91	1.74	3.30	2.55	5.67	5.65	3.62	4.54
Peso de la Capsula (9)=	gr.	17.62	16.84	16.08	17.83	21.48	21.68	17.86	22.20
Peso del Suelo Seco (7)-(9)=10	gr.	36.10	34.13	42.02	31.69	58.61	56.96	34.32	40.80
% de Humedad (8)/(10)=(11)	%	5.29%	5.10%	7.85%	8.05%	9.67%	9.92%	10.55%	11.13%
Promedio de Humedad	%	5.19%		7.95%		9.80%		10.84%	
Densidad del Suelo Seco(5)/(1+12)=13	%	<b>1.960</b>		<b>2.035</b>		<b>2.060</b>		<b>2.017</b>	

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

*Figura 6 Relacion Humedad y Densidad Maxima Seca*



Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

Tabla 12 Resumen Maxima Densidad seca y Humedad Optima

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b> :	<b>2.064 gr/cc</b>
<b>HUMEDAD OPTIMA</b> :	<b>9.40%</b>

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

**b) Cálculo del Valor Relativo de Soporte**

Tabla 13 Densidad del Suelo Humedo CBR

<b>Peso Suelo Humedo + Molde(1)</b>	gr.	15380	12775	12503
<b>Peso del Molde(2)</b>	gr.	11060	8118	7763
<b>Peso del Suelo Humedo(1)-(2)=(3)</b>	gr.	4320	4657	4740
<b>Volumen del Suelo (4)</b>	cc.	2087.67	2097.05	2113.34
<b>Densidad del Suelo Humedo(3)/(4)=(5)</b>	gr/cc.	2.069	2.221	2.243

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

Para halla el Volumen del suelo (4) se requieren los siguientes datos:

Diámetro del molde = 15.20cm

Altura del molde = 17.65cm

Altura del disco espaciador = 6.14cm

Volumen del Suelo (4)=  $3.1416 \cdot (17.65-6.14)^2 / 4 = 2087.67 \text{cm}^3$

Tabla 14 Densidad de Suelo Seco CBR

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	54.48	67.92	63.91	77.30	76.30	73.32
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	51.24	61.72	60.19	72.74	71.77	69.44
<b>Peso del Agua</b>	gr.	3.24	6.20	3.72	4.56	4.53	3.88
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	16.80	18.56	21.21	20.07	16.99	22.35
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	34.44	43.16	38.98	52.67	54.78	47.09
<b>% de Humedad</b>	%	9.41%	14.37%	9.54%	8.66%	8.27%	8.24%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	<b>11.89%</b>		<b>9.10%</b>		<b>8.25%</b>	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	<b>1.849</b>		<b>2.035</b>		<b>2.072</b>	

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

c) **Calculo de la expansión:**Tabla 15 *Calculo de Expansion CBR*

Fecha	Hora	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
			mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.	13.94	0	0.000	15.68	0	0	17.95	0	0
27/03/2014	12:50 p.m.	14.235	-0.295	-0.256	16.006	0.326	-0.282	18.425	0.475	-0.407
28/03/2014	12:30 p.m.	14.3	-0.065	-0.056	16.04	0.034	-0.029	18.49	0.065	-0.056
31/03/2014	01:00 p.m.	14.31	-0.01	-0.009	16.09	-0.05	-0.043	18.55	-0.06	-0.051
				-0.322			-0.355			-0.515

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Expansión = Este incremento en altura se compara con la altura inicial para obtener un % de hinchamiento. Esta altura inicial es igual a altura del molde (176.5mm) menos la altura del collar de expansión (61.4mm), es decir, 115.07 mm de altura inicial.

$$\begin{aligned} \text{\% de expansión} &= (\text{Lectura inicial} - \text{Lectura final}) * 100 / 115.07 \text{mm} \\ &= (13.94 - 14.31) * 100 / 115.07 \text{mm} \\ &= -0.32 \text{mm} \text{ (El procedimiento de cálculo es el mismo} \\ &\text{para cada caso).} \end{aligned}$$

Las especificaciones establecen que los materiales de préstamo para: Sub Base deben tener expansiones menores de 2% y para Base deben tener expansiones menores de 1% (Universidad Nacional de Ingeniería, FIC-CISMID, CBR-Ing. Luis Chang Chang).

En el artículo "Cálculos realizados por el ensayo CBR incluido en HCLab", menciona que se admiten hinchamientos negativos, raros aunque no imposibles y que estos generalmente ocurren en los suelos areno limosos, caso contrario ocurre con los suelos arcillosos.



d) Penetración:

Tabla 16 Calculo del CBR del Suelo

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1			MOLDE No 2			MOLDE No 3		
			Dial	Kg	Kg/cm2	Dial	Kg	Kg/cm2	Dial	Kg	Kg/cm2
0	00:00		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.63	00:30		0.69	70.34	3.56	0.64	65	3.30	1.36	139	7.01
1.27	01:00		1.12	114.17	5.77	1.10	112	5.67	2.24	228	11.54
1.91	01:30		1.54	156.98	7.94	1.68	171	8.66	3.18	324	16.39
2.54	02:00	70.31	1.90	193.68	9.79	2.22	226	11.44	4.07	415	20.97
3.81	03:00		2.57	261.98	13.24	3.41	348	17.57	5.65	576	29.11
5.09	04:00	105.46	3.05	310.91	15.72	4.43	452	22.83	7.11	725	36.64
6.35	05:00		3.50	356.78	18.03	5.32	542	27.41	8.43	859	43.44
7.62	06:00		3.92	399.59	20.20	6.12	624	31.53	9.81	##	50.55
8.94	07:00		4.34	442.41	22.36	7.01	715	36.12	11.06	1127	56.99

Fuente:(ELABORACION PROPIA, 2014)

Análisis para una Penetración de 2.54mm

- Lectura de la prensa: 1.90 KN
- Lectura de la Prensa:  $1.90 \cdot 1000 / 9.81 = 193.68 \text{Kg}$  ..... (a)
- Área del pistón de Penetración =  $19.783 \text{cm}^2$  ..... (b)
- Carga unitaria del ensayo =  $\frac{(a)}{(b)} = \frac{193.68 \text{Kg}}{19.783 \text{cm}^2} = 9.79 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

$$\text{Indice de CBR} = \frac{\text{Carga Unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria Patron}} * 100$$

- $\text{CBR} = \frac{9.79 \text{Kg} / \text{cm}^2}{70.31 \text{Kg} / \text{cm}^2} * 100 = 14\%$  (Para 12 golpes de Compactación)
- $\text{CBR} = \frac{11.44 \text{Kg} / \text{cm}^2}{70.31 \text{Kg} / \text{cm}^2} * 100 = 25\%$  (Para 25 golpes de Compactación)
- $\text{CBR} = \frac{20.97 \text{Kg} / \text{cm}^2}{70.31 \text{Kg} / \text{cm}^2} * 100 = 30\%$  (Para 56 golpes de Compactación)

### **b.6. Metodo usando el ph para estimar la proporcion suelo-cal requerida para la estabilizacion de suelos.**

El objetivo es determinar el porcentaje más bajo de la cal que genere un pH de 12.4 en un suelo a estabilizar, según el procedimiento establecido en las normas NORMA ASTM D 6276. Obteniéndose los resultados correspondientes.

#### **Descripción breve del ensayo**

- Secar el suelo al horno a temperatura menor o igual a 60 grados centígrados (con humedad higroscópica). Obtener 350 gramos de material que pase por tamiz No. 40. Mezclar bien el material que pasa el tamiz No. 40. Determine el contenido de humedad de un espécimen representativo del material para verificar que el material se encuentra totalmente seco. Calibrar el contador de pH de acuerdo con las instrucciones del fabricante usando solución búfer de pH 4,7 y 10 a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Con la muestra secada al horno, obtener cinco especímenes, con un equivalente de 25.0g de suelo y determine la masa de cada espécimen de 25.0g de suelo secado al horno de acuerdo a la siguiente formula:

$$M_a = 25 \left( 1 + \frac{W}{100} \right);$$

Donde:  $M_a$ : masa del espécimen de suelo secado al horno,  $W$ : contenido de agua de la muestra seca.

- Ponga cada espécimen en los recipientes de plástico y tapar herméticamente. Obtenga seis muestras representativas de cal que cumpla los requisitos de la especificación C 977. Cinco especímenes con cantidades de de 2, 3, 4, 5, y 6 % de la masa de suelo secado en el horno de 25g. El sexto espécimen de 2.0g de cal representa una solución saturada de la cal. Coloque los 2.0g de cal en una botella plástica y tape herméticamente. Agregue a uno de los primeros cinco especímenes de suelo la cal en las botellas plásticas, tape

firmemente, marque el porcentaje en la botella, y homogeneizar por agitación.

*Ilustración 17 Ensayo de PH (Preparacion de muestra)*



(a. Tamizado por la malla N°40), (b y c. Preparación de especímenes de 25g de suelo), Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

- Agregue 100 ml de agua a cada uno de las mezclas de la suelo-cal y a la botella que contiene la cal de 2.0 g. Sacuda cada una de las mezclas suelo-cal-agua, por un mínimo de 30s o hasta que los especímenes se mezclen homogéneamente. Continúe sacudiendo los especímenes por 30s cada 10 minutos durante 1 h. En caso de ser necesario, caliente o enfrié el espécimen para mantener la temperatura del espécimen a  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Dentro de los 15 minutos siguientes de terminado el proceso de mezclado de 1 hora, determine el PH en cada mezcla suelo-cal-agua y de la mezcla del cal-agua de 0.01 unidad del PH. Mantenga la temperatura de la mezcla en  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  al determinar el PH.
- Registre el valor de PH para cada mezcla del suelo-cal-agua y para la mezcla de la cal agua.

*Ilustración 18 Procedimiento Experimental (Lectura de PH)*



(a y b. Adición de agua a la mezcla suelo-cal), (c. Registro del PH de la solución), Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Tabla 17 Resultados del Ensayo de PH

N° DE MUESTRA	%CAL	PESO DEL SUELO (g)	PESO DE LA CAL (g)	DE AGUA (ml)	PH (unidades)
1	0%	25	0.00	100	7
2	1%	25	0.25	100	12.4
3	2%	25	0.50	100	12.7
4	3%	25	0.75	100	12.8
5	4%	25	1.00	100	13
6	5%	25	1.25	100	13.2
7	6%	25	1.50	100	13.2
8	7%	25	1.75	100	13.2
9	8%	25	2.00	100	13.3
10	9%	25	2.25	100	13.3
<b>DICION SATUR AGUA</b>			2.00	100	13.3
					7.3

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Los datos muestran que para el tipo de suelo analizado, un 1% de cal es el porcentaje óptimo para estabilizar ese material en particular, ya que cumple la especificación ASTM D-6276 para un pH de 12.4, los resultados para las demás mezcla de suelo-cal presentados son únicamente para ver el comportamiento del valor de pH, no siendo necesario determinarse en la práctica de diseño.

A continuación se analizan los resultados de laboratorio obtenidos de mezclas suelo-cal para generar así una comparación de resultados con los obtenidos del suelo natural y ver el comportamiento que se presenta, así como las mejoras que se tienen en resistencia.



**CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

4.1. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

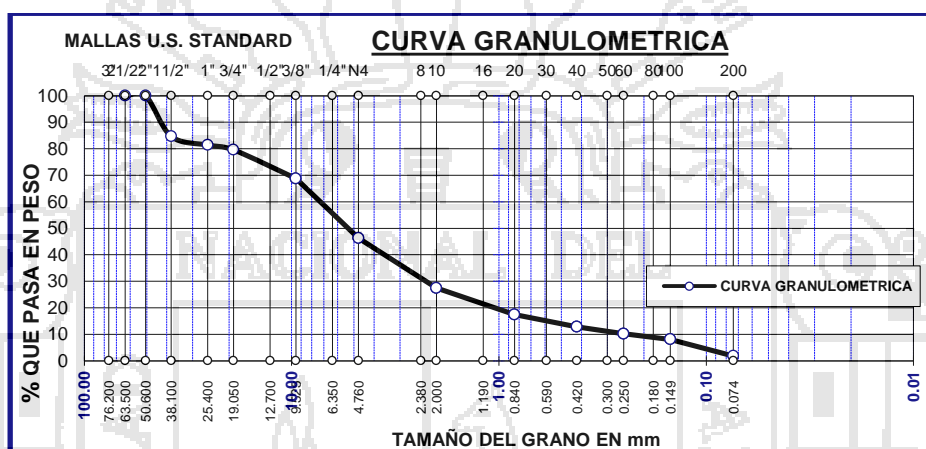
4.1.1. CONDICIONES INICIALES DE LAS CANTERAS

4.1.1.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

4.1.1.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

a) **Cantera Chullunqui.**- La siguiente figura muestra la curva granulométrica.

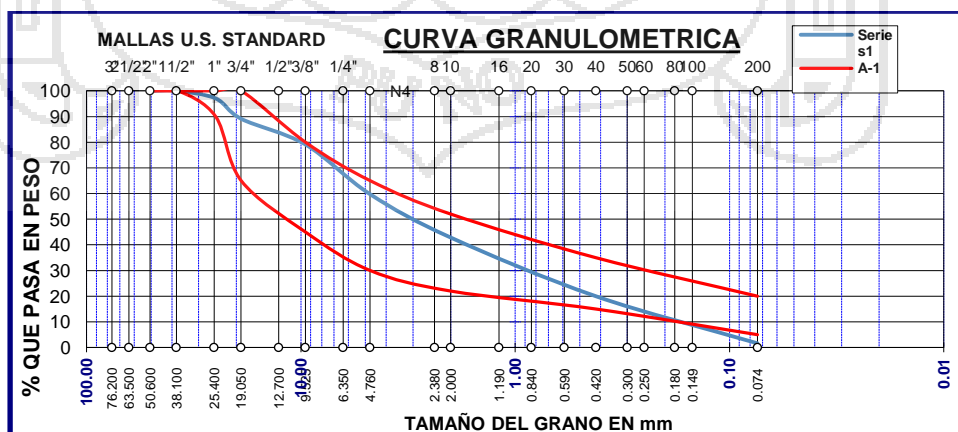
Figura 7 Curva Granulometrica Cantera Chullunqui



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La siguiente figura 7, muestra una comparación entre la gradación requerida para afirmados según la EG-2013 y la gradación obtenida del análisis granulométrico de, esta cantera.

Figura 8 Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Chullunqui y el rango especificado por la EG-2013.

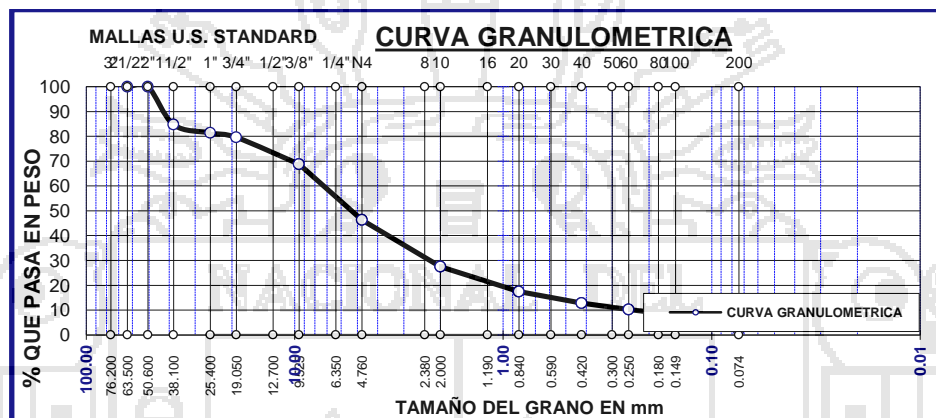


Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

En la figura 8, se puede observar que la curva granulométrica de la Cantera Chullunquiani, se encuentra dentro del rango especificado por la EG-2013, en consecuencia, esta cantera se considera como apto para la conformación de AFIRMADOS.

**b) Cantera Taparachi.-** La siguiente figura muestra la curva granulométrica.

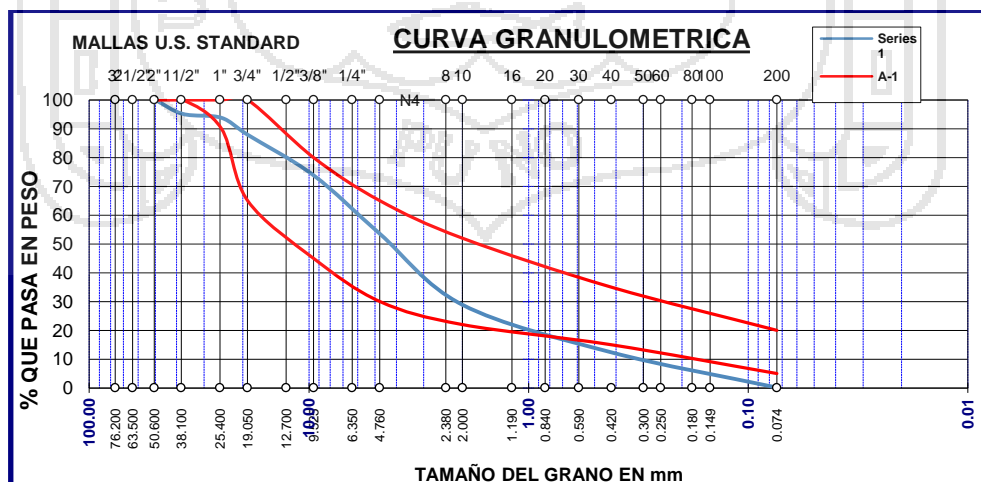
Figura 9 Curva granulométrica Cantera-Taparachi



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La siguiente figura 9, muestra una comparación entre la gradación requerida para afirmados según la EG-2013 y la gradación obtenida del análisis granulométrico de, esta cantera.

Figura 10 Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Taparachi y el rango especificado por la EG-2013.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

En la figura 10, se puede observar que la curva granulométrica de la Cantera Taparachi, no se encuentra dentro del rango especificado por la EG-2013, en consecuencia, esta cantera se considera como no apto para la conformación de un afirmado.

#### 4.1.1.1.2. LIMITES DE CONSISTENCIA

##### a) Cantera Chullunquiani

*Tabla 18 Resumen de los límites de consistencia-Cantera Chullunquiani*

LIMITE LIQUIDO	30.69%
LIMITE PLASTICO	16.39%
INDICE DE PLASTICIDAD	14.30%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 19, muestra que el índice de plasticidad de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de AFIRMADOS, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

*Tabla 19 Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Chullunquiani con la EG-2013.*

CANTERA CHULLUNQUIANI AFIRMADOS		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.30%	4% - 9%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

##### b) Cantera Taparachi

*Tabla 20 Resumen de los límites de consistencia-Cantera Taparachi*

LIMITE LIQUIDO	29.46%
LIMITE PLASTICO	15.34%
INDICE DE PLASTICIDAD	14.12%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 21, muestra que el índice de plasticidad de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de AFIRMADOS, por tanto, esta cantera se considera como no apto.



Tabla 21 Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Taparachi con la EG-2013.

CANTERA CHULLUNQUIANI AFIRMADOS		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.12%	4% - 9%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.1.1.1.3. PROCTOR MODIFICADO

##### a) Cantera Chullunquiani.

Tabla 22 Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Chullunquiani

CANTERA CHULLUNQUIANI	
MAXIMA DENSIDAD SECA :	2.064 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA :	9.40%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

##### b) Cantera Taparachi.

Tabla 23 Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Taparachi

CANTERA TAPARACHI	
MAXIMA DENSIDAD SECA :	2.08 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA :	8.85%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.1.1.1.4. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

##### a) Cantera Chullunquiani

Tabla 24 Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera- Chullunquiani

CANTERA CHULLUNQUIANI		
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0% CAL
CBR (%)	12	14%
	25	25%
	56	30%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 25, muestra que el CBR al 100% de esta cantera, es inferior a la requerida por la EG-2013, para la conformación del afirmado. Asu vez el CBR al 95% de esta cantera, es inferior a la requerida por la EG-2013, para la conformación del afirmado, por tanto, esta cantera si se consideraría como no apto para la conformación de afirmado

Tabla 25 Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Chullunquiani con la EG-2013.

<b>CANTERA CHULLUNQUIANI C.B.R</b>		
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	28%	40% min.
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	21%	40% min.

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### b) Cantera Taparachi

Tabla 26 Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera- Taparachi

<b>CANTERA TAPARACHI</b>		
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0% CAL
CBR (%)	12	3%
	25	8%
	56	62%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 27, muestra que el CBR al 100% de esta cantera, mayor a la requerida por la EG-2013, para la conformación del afirmado. Asu vez el CBR al 95% de esta cantera, es inferior a la requerida por la EG-2013, para la conformación del afirmado, por tanto, esta cantera se consideraría como apto para la conformación de afirmado (100%MDS)

Tabla 27 Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Taparachi con la EG-2013.

CANTERA TAPARACHI C.B.R		
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	42%	40% min.
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	21%	40% min.

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.1.1.1.5. EXPANSION DE SUELOS

##### c) Cantera Chullunquiani.

Tabla 28 Expansión del Suelo Cantera- Chullunquiani

CANTERA CHULLUNQUIANI	
NUMERO DE GOLPES	EXPANSION
12	-0.28%
25	-0.31%
56	-0.44%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

##### d) Cantera Taparachi.

TABLA 29 Expansión del Suelo Cantera- Taparachi

CANTERA TAPARACHI	
NUMERO DE GOLPES	EXPANSION
12	-0.09%
25	-0.22%
56	-0.55%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

## 4.2. ESTABILIZACION DE LAS CANTERAS CON CAL

### 4.2.1. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA

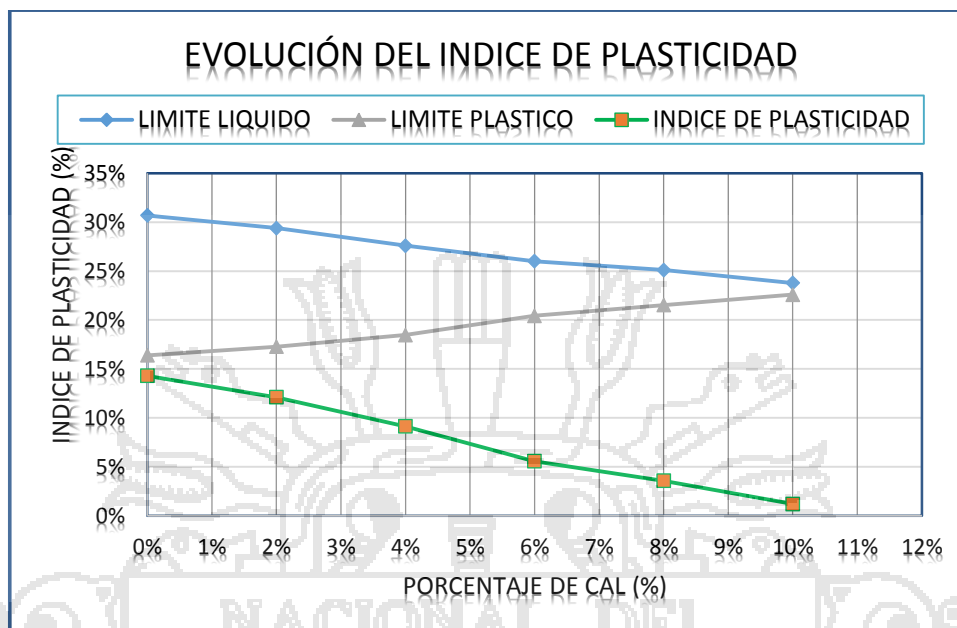
#### a) Suelo de Cantera Chullunquiani

Tabla 30 Comparación del Índice de Plasticidad del suelo de la cantera con la EG-2013.

CANTERA CHULLUNQUIANI	% DE CAL						ESPECIFICACION
	0%	2%	4%	6%	8%	10%	
LIMITE LIQUIDO	30.69%	29.39%	27.59%	26.00%	25.10%	23.79%	Max 35%
LIMITE PLASTICO	16.39%	17.28%	18.47%	20.44%	21.52%	22.60%	Ninguna
INDICE DE PLASTICIDAD	14.30%	12.11%	9.12%	5.56%	3.58%	1.19%	4%-9%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 11 Porcentaje de Índice de Plasticidad de la cantera Chullunquini sin agente estabilizante y con adición de la mezcla de Cal.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 11, muestra un descenso progresivo del porcentaje de Índice de Plasticidad de: 14.30% que es el IP del suelo en estudio a 12.11%, 9.12%, 5.56%, 3.58% y 1.19% de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente de adición de Cal. Lo cual significa que la adición de Cal disminuye el índice de plasticidad, y siendo el IP exigido por las especificaciones técnicas con una variación entre 4% y 9%. A partir del 6%, 8% y 10% de adición de Cal cumple estas exigencias.

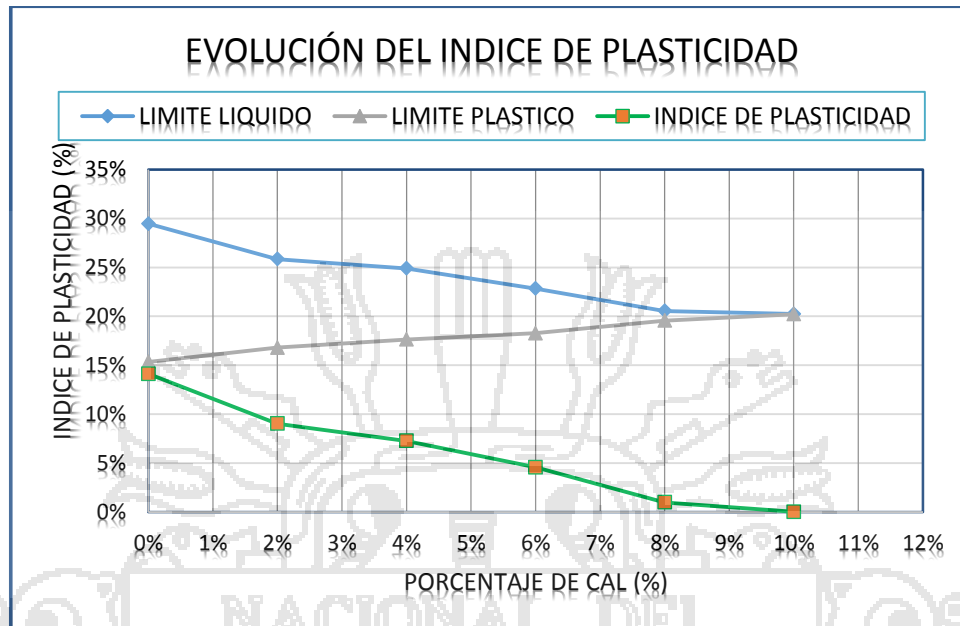
**b) Suelo Cantera – Taparachi**

Tabla 31 Comparación del Índice de Plasticidad del suelo de la cantera Taparachi con la EG-2013.

CANTERA TAPARACHI	% DE CAL						ESPECIFICACION
	0%	2%	4%	6%	8%	10%	
LIMITE LIQUIDO	29.46%	25.85%	24.90%	22.84%	20.55%	20.23%	Max 35%
LIMITE PLASTICO	15.34%	16.81%	17.63%	18.28%	19.56%	20.21%	Ninguna
INDICE DE PLASTICIDAD	14.12%	9.04%	7.27%	4.56%	0.99%	0.02%	4%-9%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 12 Porcentaje de Índice de Plasticidad de la cantera Taparachi sin agente estabilizante y con adición de la mezcla de Cal.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 12, muestra un descenso progresivo del porcentaje de Índice de Plasticidad de: 14.12% que es el IP del suelo en estudio a 9.04%, 7.27%, 4.56%, 0.99% y 0.02% de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente de adición de Cal. Lo cual significa que la adición de Cal disminuye el índice de plasticidad, y siendo el IP exigido por las especificaciones técnicas con una variación entre 4% y 9%. A partir del 4% y 6% de adición de Cal cumple estas exigencias.

Las siguientes imágenes muestran como va influyendo la inclusión del agente estabilizador Cal en el ensayo de Límites de Consistencia, perdiendo el suelo la plasticidad.

*Ilustración 19 Adición de cal a la muestra*



- (a. Muestra pasante Tamiz N40 y sus respectivos porcentajes de Cal), (b. Adición de la cal a la muestra para saturarse); Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.2.1.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados del ensayo de Límite de Consistencia y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de EG-2013 para carreteras a nivel de afirmado el cual indica:

Un límite líquido máximo de 35 el cual se cumple satisfactoriamente en todos los casos y para las 2 canteras

En ambos casos como la terioa indica el Limite Liquido disminuye y el Limite Plastico se incrementa, como consecuencia de ello el Indice de Plasticidad disminuye.

El Índice de Plasticidad cuyas exigencias deben estar en un rango de variación de 4% a 9% no se cumple para las 2 canteras, sin embargo adicionando Cal se cumple para 4% y 6% para la cantera Chullunquiani y 2%, 4% y 6% para los suelos de la cantera Taparachi; concluyéndose de esta manera que la adición de Cal, por consiguiente mejora sus propiedades mecánicas para ser usado en la conformación de carreteras a nivel de afirmado cumpliendo las exigencias de las especificaciones técnicas.

**4.2.2. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

**4.2.2.1. RESULTADOS CANTERA CHULLUNQUIANI**

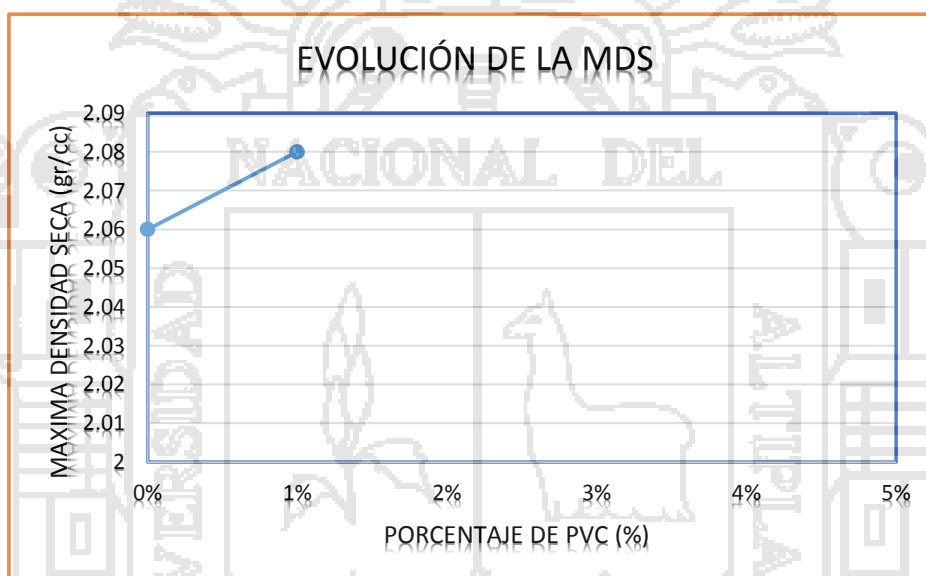
**a). MÁXIMA DENSIDAD SECA**

Tabla 32 Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.

CANTERA	% DE CAL	
	0%	1%
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)	2.06	2.08

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 13 Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 13, muestra un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca de: 2.06.gr/cc, 2.08 gr/cc al 0% y 1% respectivamente de adición de cal.

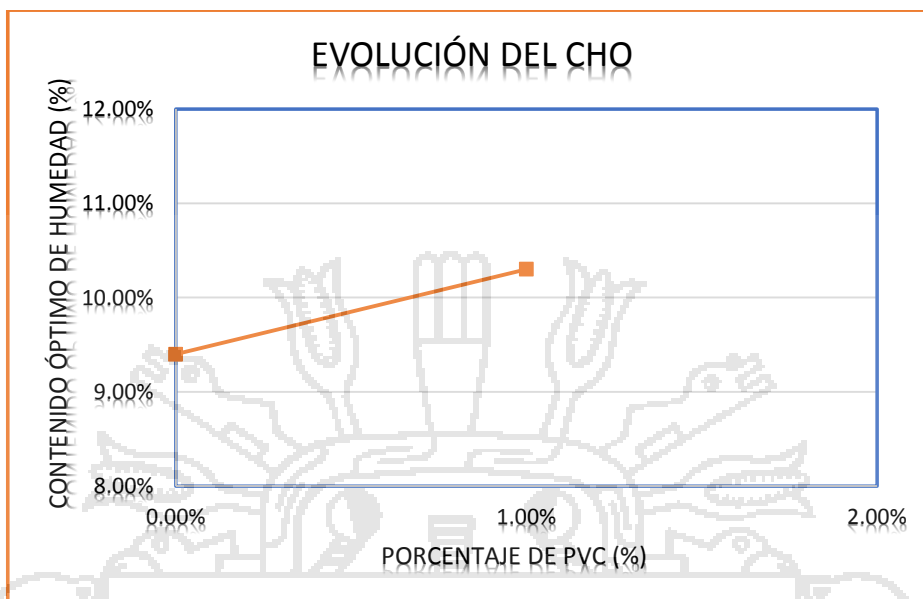
**b). CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO**

Tabla 33 Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera- Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.

CANTERA	% DE CAL	
	0%	1%
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)	9.40%	10.30%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 14 Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera- Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.

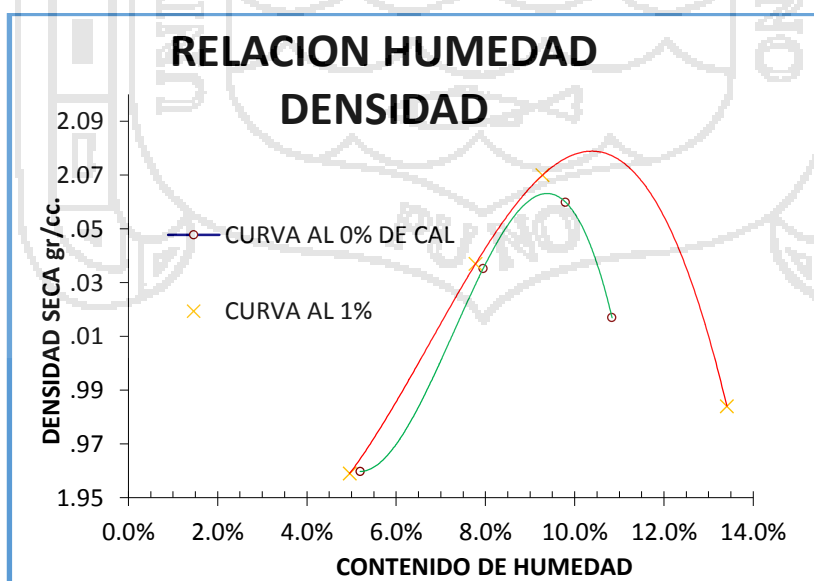


Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 14, muestra un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo de: 9.40% y 10.30% al 0% y 1% respectivamente de adición de cal.

#### 4.2.2.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS-CANTERA CHULLUNQUIANI

Figura 15 Resumen de curvas de compactación- Chullunquiani sin cal y con cal al 1%.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)



La figura 15, muestra un resumen de las curvas de compactación, con adición de cal.

En la figura 15, se puede notar, un incremento progresivo de la Máxima Densidad Seca, esta disminución ocurre debido a que la cal produce reacciones químicas que producen un efecto cementante en el suelo. También en la figura 15, se puede notar un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo, este ascenso ocurre debido a que la cal al reaccionar químicamente con el suelo consume agua.

### 4.2.3. ENSAYO DE CBR

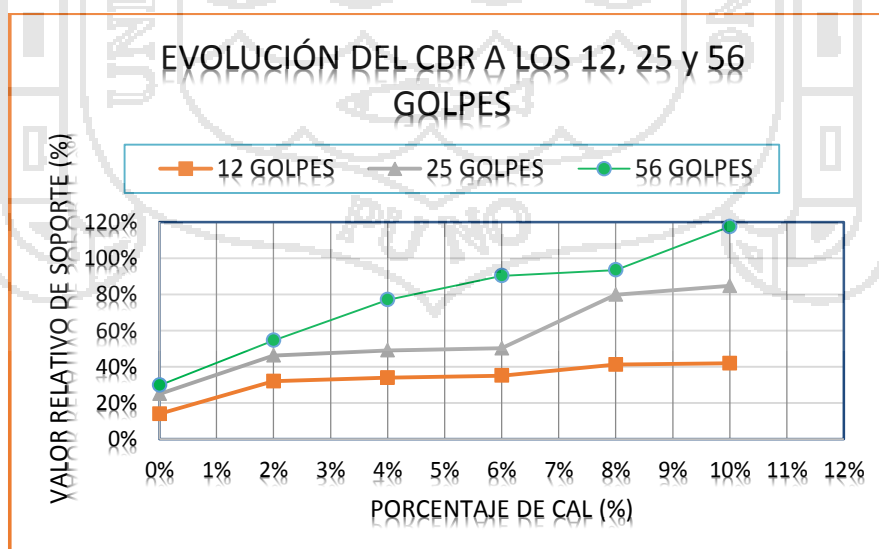
#### 4.2.3.1. RESULTADO DE LA CANTERA CHULLUNQUIANI

Tabla 34 Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Chullunquiani sin cal y con cal al 100% de la Máxima Densidad Seca.

CANTERA CHULLUNQUIANI		CAL					
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CBR (%)	12	14%	32%	34%	35%	41%	42%
	25	25%	46%	49%	50%	80%	85%
	56	30%	55%	77%	90%	94%	117%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 16 CBR a los 12, 25 y 56 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera Chullunquiani) y material con Cal.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 34, muestra para los 12 golpes de compactación un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 14%, 32%,34%,35%,41% y 42%, al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Para los 25 golpes de compactación, un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 25%, 46%, 49%, 50%, 80% y 85% al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Para los 56 golpes de compactación, muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 30%, 55%, 77%, 90%, 94%,117% al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Por tanto se puede concluir que la Cal Estabiliza y mejora considerablemente la resistencia del suelo.

TABLA 35 Expansion del suelo expresado en % a 12, 25 y 56 golpes para 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de cal

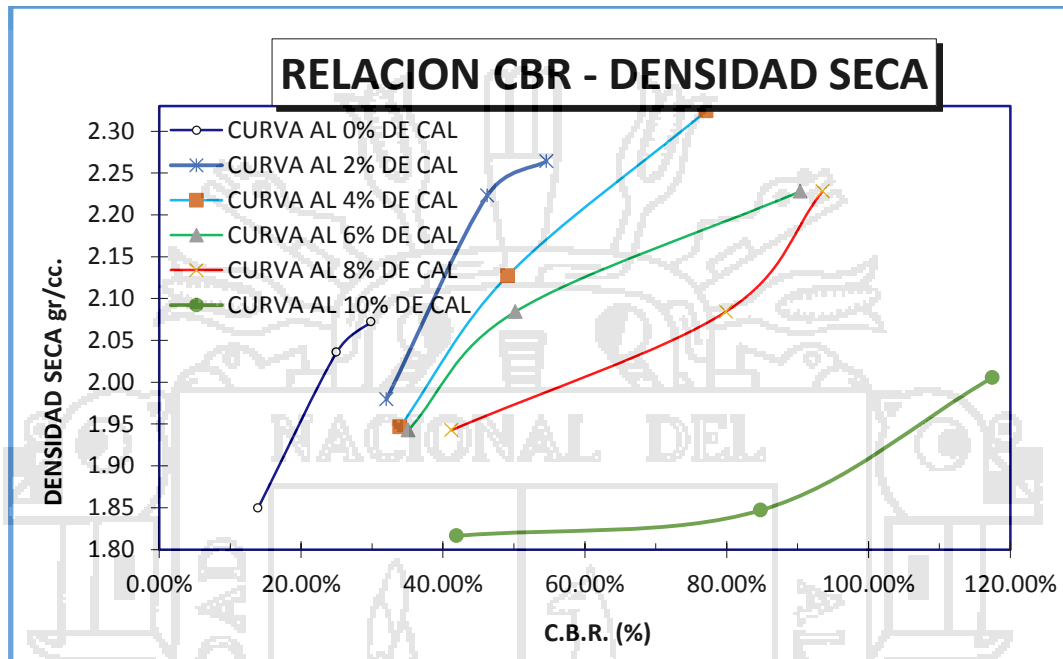
CANTERA CHULLUNQUIANI		CAL					
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0%	2%	4%	6%	8%	10%
EXPANSION (%)	12	-0.28%	0.19%	0.23%	0.15%	0.12%	0.20%
	25	-0.31%	0.32%	0.12%	0.28%	0.25%	0.21%
	56	-0.44%	0.07%	0.15%	0.22%	0.21%	0.15%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 35 muestra las expansiones para 12 golpes de compactacion un incremento de la expansion minimo de: -0.28%,0.19%, 0.23% 0.15%, 0.12%, 0.20%, al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Para 25 golpes de compactacion un incremento minimo de la expansion de: -0.31%, 0.32%, 0.12%, 0.28%, 0.25%, 0.21% al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Para 56 golpes de compactacion un incremento minimo de: -0.44%, 0.07%, 0.15%, 0.22%,0.21%, 0.15% al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Por tanto se puede concluir que la adicion de Cal al Suelo produce un minimo incremento de la expansion del mismo.

#### 4.2.3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA CANTERA- CHULLUNQUIANI

Figura 17 Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Chullunquiani



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 17, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad Seca, con adición de cal.

De este ensayo para esta cantera se puede resaltar lo siguiente:

Para los 12, 25 golpes y 56 golpes de compactación se muestran un ascenso del Valor Relativo de Soporte (CBR), esto nos indica que la cal mejora la resistencia del suelo.

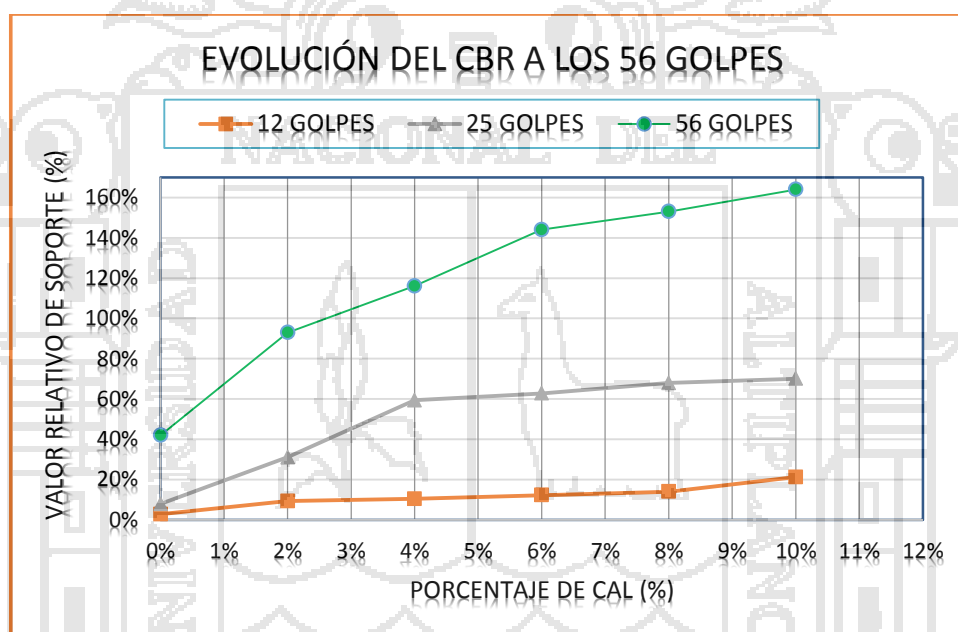
### 4.2.3.3. RESULTADO DE LA CANTERA TAPARACHI

Tabla 36: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Taparachi sin cal y con cal al 100% de la Máxima Densidad Seca.

CANTERA TAPARACHI		CAL					
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CBR (%)	12	3%	9%	10%	12%	14%	21%
	25	8%	31%	59%	63%	68%	70%
	56	42%	93%	116%	144%	153%	164%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

Figura 18 CBR a los 12, 25 y 56 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera Taparachi) y material con Cal.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 36, muestra para los 12 golpes de compactación un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 3%, 9%,10%,12%,14% y 21%, al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Para los 25 golpes de compactación, un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 8%, 31%, 59%, 63%, 68% y 70% al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Para los 56 golpes de compactación, muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 42%, 93%, 116%, 144%, 153%,164% al 0%,2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Por tanto se puede concluir que la Cal Estabiliza y mejora considerablemente la resistencia del suelo.

TABLA 37: Expansion del suelo expresado en % a 12, 25 y 56 golpes para 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de cal

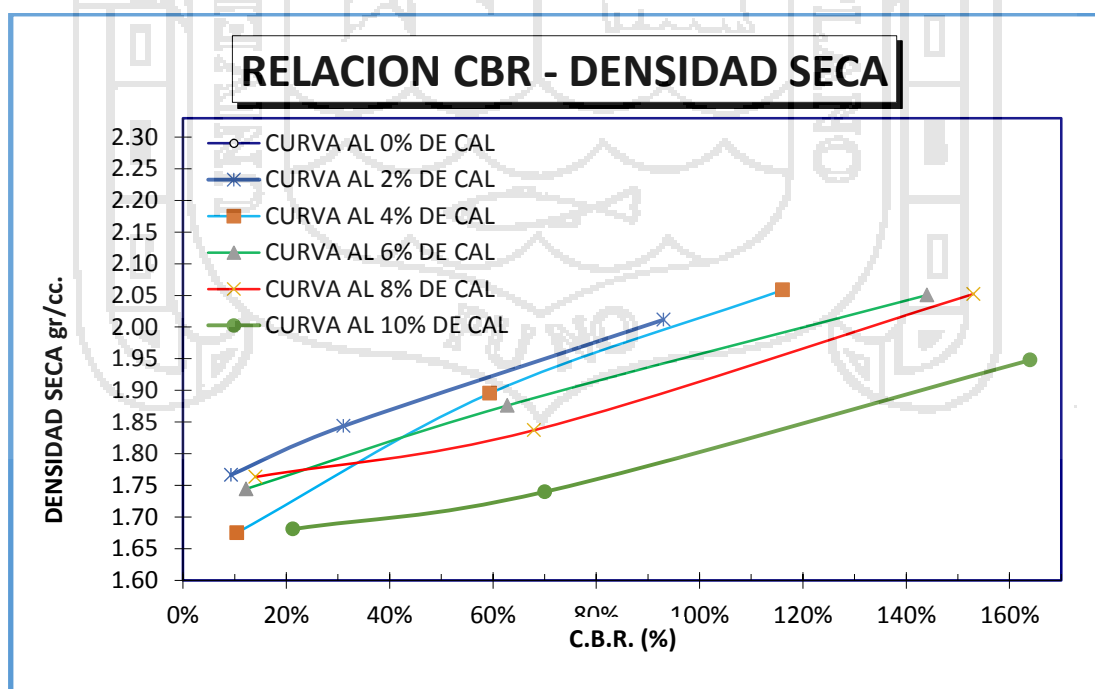
CANTERA TAPARACHI		CAL					
PROPIEDAD	NUMERO DE GOLPES	0%	2%	4%	6%	8%	10%
EXPANSION (%)	12	-0.09%	0.41%	0.07%	0.19%	0.18%	0.35%
	25	-0.22%	0.18%	0.02%	0.07%	0.19%	0.28%
	56	-0.55%	0.09%	0.04%	0.33%	0.21%	0.21%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La tabla 37 muestra las expansiones para 12 golpes de compactacion un incremento de la expansion minimo de: -0.09%, 0.41%, 0.07%, 0.19%, 0.18%, 0.35% al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Para 25 golpes de compactacion un incremento minimo de la expansion de: -0.22%, 0.18%, 0.02%, 0.007%, 0.19%, 0.28% al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Para 56 golpes de compactacion un incremento minimo de: -0.55%, 0.18%, 0.02%, 0.07%, 0.19%,0.28% al 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, y 10% respectivamente. Por tanto se puede concluir que la adicion de Cal al Suelo produce un minimo incremento de la expansion del mismo.

#### 4.2.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA CANTERA-TAPARACHI

Figura 19 Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Taparachi



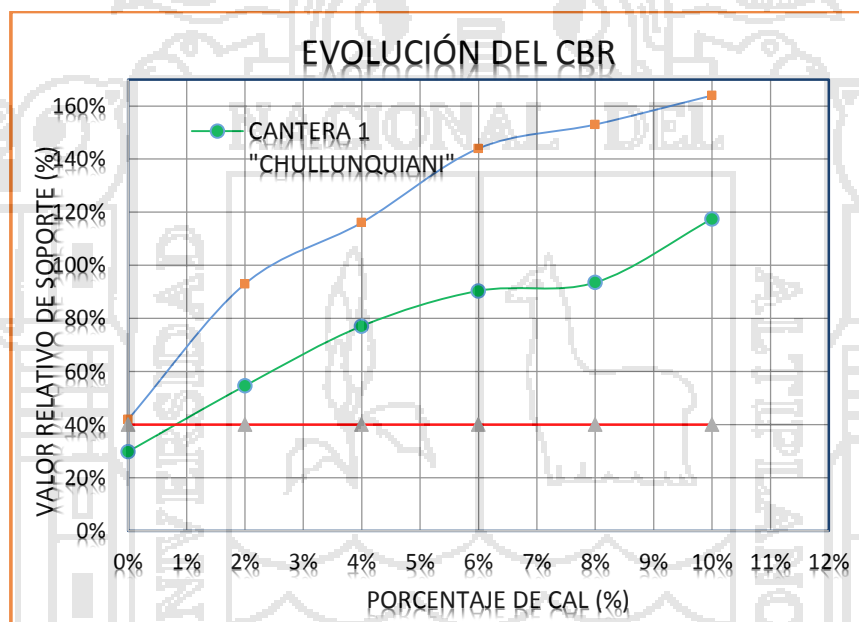
Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

La figura 19, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad Seca, con adición de cal.

De este ensayo para esta cantera se puede resaltar lo siguiente:

Para los 12, 25 golpes y 56 golpes de compactación se muestran un ascenso del Valor Relativo de Soporte (CBR), esto nos indica que la cal mejora la resistencia del suelo.

Figura 20 Eoluacion del CBR para cada una de las 2 canteras estabilizadas con Cal



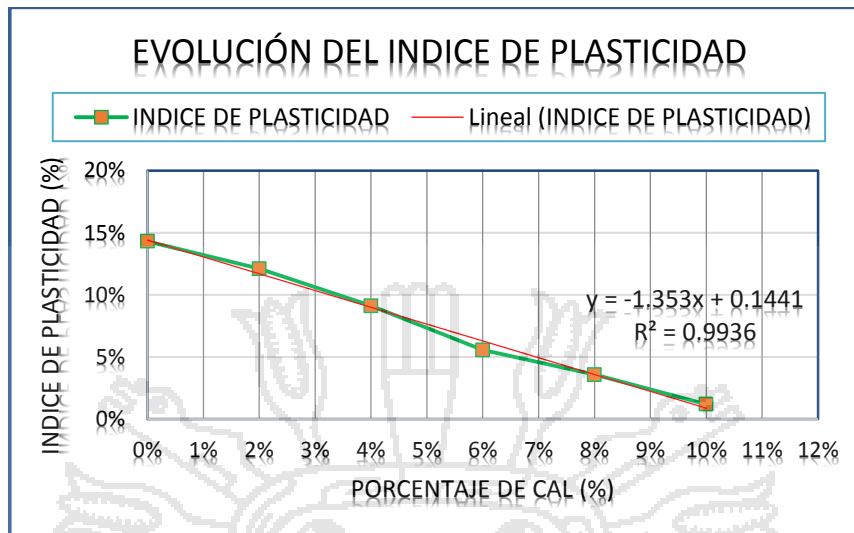
Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.3. TRATAMIENTO DE DATOS Y DISEÑO ESTADÍSTICO

##### 4.3.1. CORRELACIONES PARA LA CANTERA CHULLUNQUIANI

###### a) Correlación para el Índice de Plasticidad

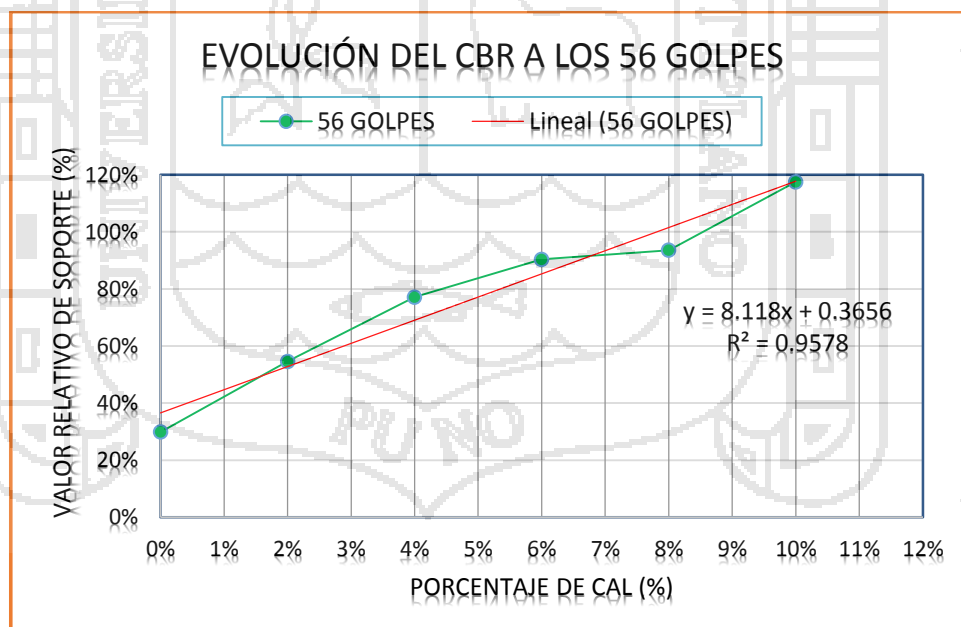
Figura 21 Correlación para el Índice de Plasticidad y el porcentaje de Cal adicionado al suelo.



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

**b) Correlación para el ensayo de Valor Relativo de Soporte**

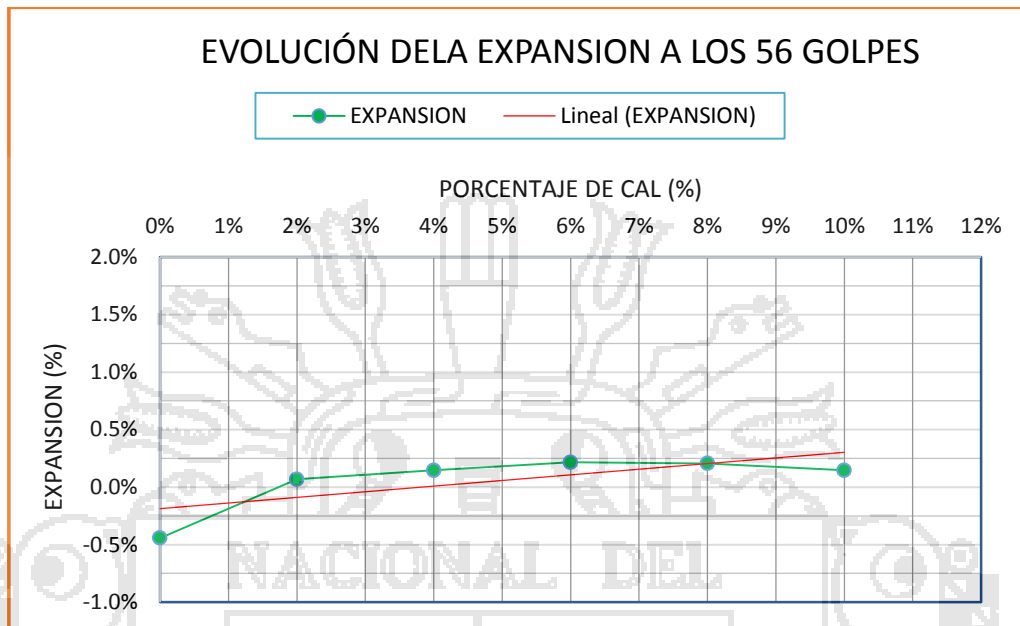
Figura 22: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para el suelo natural y el suelo estabilizado con cal



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

**c) Correlación para el ensayo de Expansion**

Figura 23: Correlacion de la Expansion a los 56 golpes de compactacion y el porcentaje de Cal adicionado al suelo

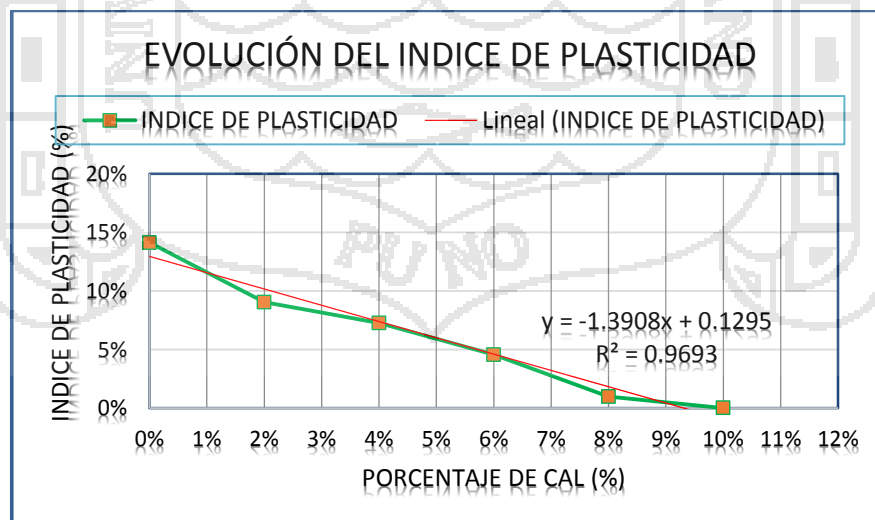


Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

**4.3.2. CORRELACIONES PARA LA CANTERA TAPARACHI**

**a). Correlación para el Índice de Plasticidad**

Figura 24: Correlación para el Índice de Plasticidad y el porcentaje de Cal adicionado al suelo.

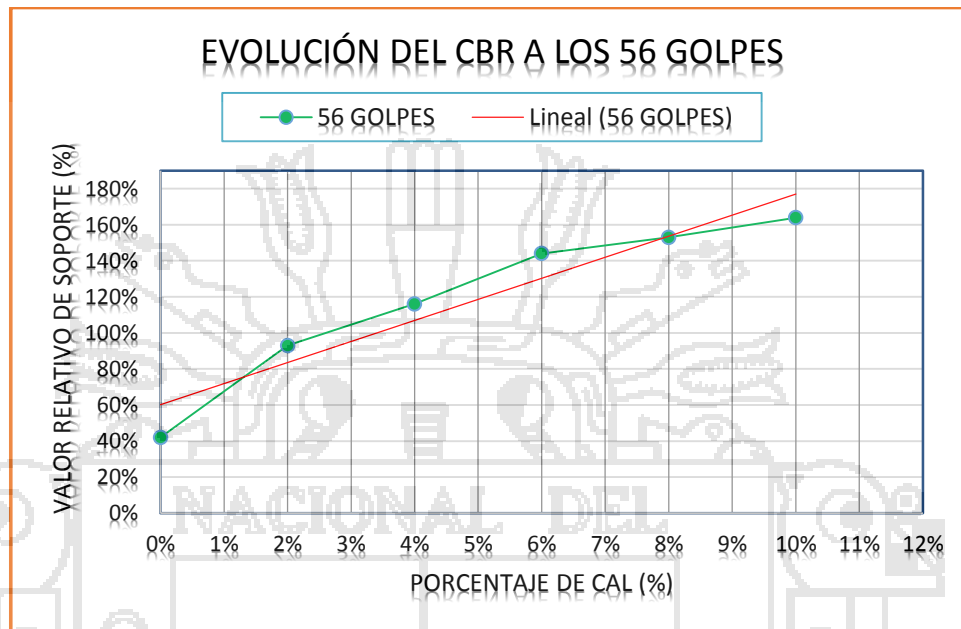


Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)



**b). Correlación para el ensayo de Valor Relativo de Soporte**

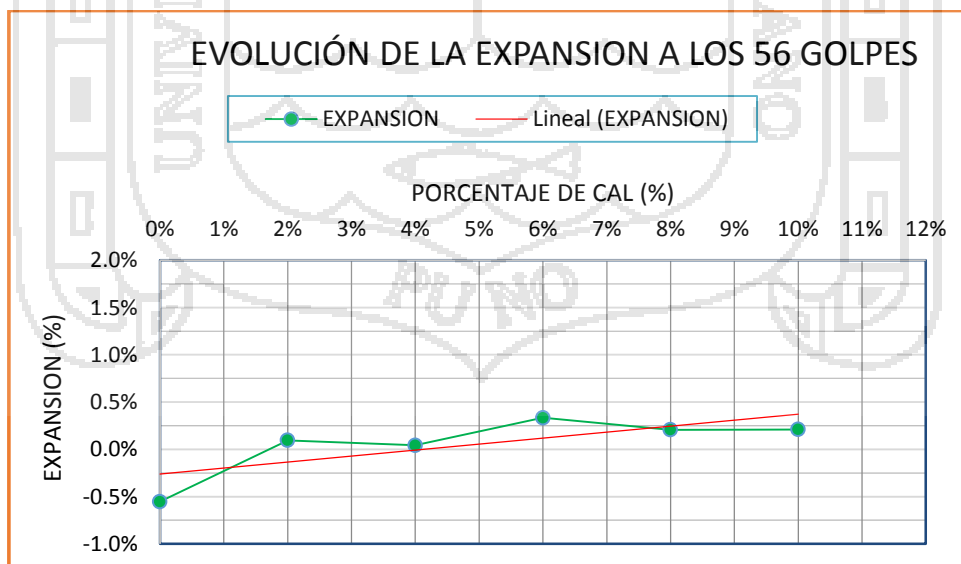
Figura 25: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para el suelo natural y el suelo estabilizado con cal



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

**c) . Correlación para el ensayo de Expansion**

Figura 26: Correlación de la Expansion a los 56 golpes de compactación y el porcentaje de Cal adicionado al suelo



Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.4. PRUEBA DE HIPOTESIS

##### 4.4.1. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CORRELACION

1. Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

( $H_0$  = Ausencia de correlación entre las variables)

( $H_a$  = Existencia de correlación entre las variables en forma directa).

2. Elegir el nivel de significación:  $\alpha$ , ( $\alpha=0.01$ ,  $\alpha= 0.05$ ,  $\alpha= 0.10$ ).

3. Cálculo del valor experimental.  $r^2$ , gl, t, p: ( $r^2$  = coeficiente de determinación)

$$t = \frac{r - p}{S_r} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Donde:

$$S_r = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}}$$

4. Si:  $p > \alpha$ : aceptamos  $H_0$ : y rechazamos la  $H_a$ :

Si:  $p < \alpha$  rechazamos  $H_0$ : y aceptamos  $H_a$ :

5. Conclusión. Realizar la interpretación en base al paso 4 y concluir de acuerdo al tenor del problema.

Entonces de acuerdo a los datos y resultados obtenidos en cada uno de los ensayos y comparando los resultados, una de las primeras conclusiones es; la aplicación de cal para las canteras: Chullunquiani y Taparachi.

#### 4.4.2. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CANTERA CHULLUNQUIANI

##### 4.4.2.1. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.9797$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación sin cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.9599 \\ \text{gl} &= 5 \\ t &= 9.7861 \\ p &= 0.0051 \end{aligned}$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 95.99% de la variación del valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación sin cal y 4.01% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

$H_0$ = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula

$H_a$ : Hipótesis Alternativa

b) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

c) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.0051 < 0.05$$

d) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

Tabla 38: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiani

CANTERA CHULLUNQUIANI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 56 golpes de compactación	30%	55%	77%	90%	94%	117%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	25%	44%	60%	64%	87%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.4.2.2. VARIABLE INDICE DE PLASTICIDAD.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = -0.9968$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.9936 \\ \text{gl} &= 5 \\ t &= -24.9419 \\ p &= 0.0020 \end{aligned}$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 99.36% de la variación del índice de plasticidad con cal. Esta explicado por el índice de plasticidad sin cal y 0.64% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

$H_0$ = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula

$H_a$ : Hipótesis Alterna

b) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

c) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$\begin{matrix} p & < & \alpha \\ 0.0020 & < & 0.05 \end{matrix}$$

d) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

e) De manera cualitativa la prueba estadista  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

*Tabla 39 Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del Índice de Plasticidad-Cantera Chullunquiani*

CANTERA CHULLUNQUIANI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Índice de Plasticidad	14.30%	12.11%	9.12%	5.56%	3.58%	1.19%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	2.19%	5.18%	8.74%	10.73%	13.11%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.4.2.3. VARIABLE EXPANSION A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.7333$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.5377 \\ \text{gl} &= 5 \\ t &= 2.1569 \\ p &= 0.0234 \end{aligned}$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 53.77% de la variación de la expansión a los 56 golpes de compactación con cal. Esta explicado por la expansión a los 56 golpes de compactación sin cal y 46.23% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

$H_0$ = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Expansión a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de airmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Expansion a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula

$H_a$ : Hipótesis Alternativa

b) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

c) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$\begin{array}{rcl} p & < & \alpha \\ 0.0234 & < & 0.05 \end{array}$$

d) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Expansion a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

Tabla 40: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiani

CANTERA CHULLUNQUIANI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Expansion a los 56 golpes de compactación	-0.44%	0.07%	0.15%	0.22%	0.21%	0.15%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	0.51%	0.59%	0.66%	0.65%	0.59%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)



#### 4.4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA LA CANTERA TAPARACHI

##### 4.4.3.1. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = -0.9582$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$r^2 = 0.9181$$

$$gl = 5$$

$$t = 6.6962$$

$$p = 0.0075$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 91.81% de la variación del valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación sin cal y 8.19% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

$H_0$ = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**)

del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula

$H_a$ : Hipótesis Alternativa

b) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

c) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.0075 < 0.05$$

d) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

Tabla 41: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Taparachi

CANTERA TAPARACHI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 56 golpes de compactación	42%	93%	116%	144%	153%	164%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	51%	74%	102%	111%	122%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.4.3.2. VARIABLE INDICE DE PLASTICIDAD.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = -0.9845$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.9692 \\ \text{gl} &= 5 \\ t &= -11.2116 \\ p &= 0.0045 \end{aligned}$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 96.92% de la variación del índice de plasticidad con cal. Esta explicado por el índice de plasticidad sin cal y 3.08% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

f) Hipótesis Estadística:

$$\begin{aligned} H_0: \rho &= \rho_0 \\ H_a: \rho &\neq \rho_0 \end{aligned}$$

$H_0$  = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula  
 $H_a$ : Hipótesis Alterna

- g) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$
- h) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$\begin{matrix} p & < & \alpha \\ 0.0045 & < & 0.05 \end{matrix}$$

- i) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Reduccion del índice de plasticidad**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.
- j) De manera cualitativa la prueba estadista  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

Tabla 42 Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del Índice de Plasticidad-Cantera Taparachi

CANTERA TAPARACHI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Índice de plasticidad	14.12%	9.04%	7.27%	4.56%	0.99%	0.02%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	5.08%	6.85%	9.56%	13.13%	14.1%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

#### 4.4.3.3. VARIABLE EXPANSION A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACION.

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.7589$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación cal y el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con cal.

Calculamos los valores experimentales:  $r^2$ , gl, t, p:

$$\begin{aligned} r^2 &= 0.5760 \\ \text{gl} &= 5 \\ t &= 2.3310 \\ p &= 0.0216 \end{aligned}$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 57.60% de la variación de la expansión a los 56 golpes de compactación con cal. Esta explicado por la expansión a los 56 golpes de compactación sin cal y 42.40% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

$$H_a: \rho \neq \rho_0$$

$H_0$ = La cal como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Expansión a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de airmados.

$H_a$ = La cal como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Expansion a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.

Dónde:  $H_0$ : Hipótesis Nula  
 $H_a$ : Hipótesis Alternativa

- b) Elegir el nivel de significación:  $\alpha = 0.05$
- c) La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a “ $\alpha$ ”, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.0216 < 0.05$$

- d) Conclusión: Ya que  $p < \alpha$ , existe suficiente evidencia para afirmar que  $\rho \neq 0$ , es decir que la correlación es diferente de cero. Esto corrobora a los resultados de la correlación encontrada. Por tal motivo se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ : La cal como agente estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Expansion a los 56 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de afirmados.
- e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

Tabla 43: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Chullunquiari

CANTERA CHULLUNQUIANI PROPIEDAD	PORCENTAJE DE CAL					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Expansion a los 56 golpes de compactación	-0.55%	0.09%	0.04%	0.33%	0.21%	0.21%
Mejoramiento respecto a la muestra patrón	0%	0.65%	0.60%	0.89%	0.76%	0.76%

Fuente: (ELABORACION PROPIA, 2014)

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y**

---

## **RECOMENDACIONES**



## 5.1. CONCLUSIONES

- La Cal como agente estabilizador de suelos si mejora las propiedades mecánicas del material de cantera, esto debdio a que al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculacion e intercambio ionico, seguida de otra muy lenta tipo Puzonalica, con formación de nuevos productos químicos, la Cal al combinarse con la silece, alumina de las partículas del suelo y el agua, producen silicatos y aluminatos similares a los del cemento; esto genera un incremento considerable en el Valor Relativo de Soporte CBR del Suelo considerandolo apto para su uso en la conformación de Afirmados según la EG-2013.
- Para la cantera #1 (Chullunquiani) el porcentaje optimo de Cal para mejorar el CBR y considerarlo apto para la conformación de afirmados es de 2%. Para la cantera #2 (Taparachi) el porcentaje optimo de Cal para mejorar el CBR y considerarlo apto para la conformación de afirmados es de 1%.
- La Cal como agente estabilizador de suelos disminuye ligeramente el Limite Liquido e Incrementa el Limite Plastico, produciendo una reducción del Indice de Plasticidad de los suelos.



## 5.2. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

**PRIMERO:** Se recomienda que ala aceptabilidad o rechazo de los resultados de Resistencia (C.B.R), Plasticidad y expansión obtenidos producto de la estabilización de suelos, dependerán de las especificaciones técnicas y contractuales para cada obra en particular donde sea implementada esta técnica de estabilización.

**SEGUNDO:** Investigaciones precedentes sobre el tema estudiado, muestran que cuando el suelo presenta una mayor plasticidad y es estabilizado con cal, los resultados obtenidos en sus propiedades son superiores, puesto que se genera una mejor reacción química entre estos, por lo cual se recomienda más estudios de esta técnica de estabilización en nuestro país, donde se involucren distintos suelos con diferentes propiedades plásticas.

**TERCERO:** Se recomienda la adquisición de equipos para la medición del PH de los suelos, para poder realizar investigaciones más enriquecedoras para la ciencia de la ingeniería civil y así poder aplicarlas en nuestra Región.

**CUARTO:** Se sugiere realiza un tramo de prueba y ponerlo en funcionamiento para ver in-situ el comportamiento en tiempo real y hacer las comparaciones con otros materiales.

**QUINTO:** Se sugiere investigar más estudios tomando en cuenta otros parámetros para consolidar mejor las propiedades de este agente estabilizador y asu vez investogar sobre otras tecnologías de estabilización de los suelos puesto que es necesaria para el desarrollo de la región.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA

---



## 6.1. BIBLIOGRAFIA

- 1109, M. E. (2004). *Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado*. Norma Técnica de Estabilizadores Químicos, Dirección General de Caminos Y Ferrocarriles DGC y F-Perú , Lima.
- Breskid Acosta, J. (2004). *Estudio comparativo de los resultados del CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) obtenidos en laboratorios y con un Penetro metro Dinámico*. Trabajo especial de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo.
- Braja M., Das. (2001). *"fundamentos de ingeniería geotécnica"*. Mexico: Thomson Learning.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Manual de Carreteras, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima.
- Gonzales boada, J. (2005). *Clasificación de suelos de acuerdo a Sucs y Aashto*. Barcelona: Universidad De Granadas.
- Hernández Sampieri, R. B. (2006). *Metodología de la Investigación Científica* (4ta ed.). México: McGraw-Hill.
- Hueso Maldonado, H. M., & Orellana mArtinez, A. C. (2009). *"guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador"*. San salvador: Universidad de El Salvador.
- Lambe, W. (1996). *Mecánica de Suelos*. México, D.F.: Limusa.
- Ministerio de Transportes comunicaciones Vivienda y Construcción. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013*. Lima.
- Ministerio de Transportes Comunicaciones Vivienda y Construcción. (2001). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001)*. Lima MTC.
- RAMCODES. (10 de Agosto de 2012). *Que es el CBR*. (F. Sánchez Leal, Editor, & CEO RAMCODES) Obtenido de Conceptos y aplicaciones de la tecnología RAMCODES en suelos y mezclas asfálticas: <http://blogramcodes.blogspot.com/2012/08/que-es-el-cbr.html>

- Rico Rodríguez, A., & Del Castillo Mejía, H. (1992). *Consideraciones sobre Compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte*. Documento Técnico, Instituto Mexicano del Transporte , México.
- Rodríguez Esquerdo, P. (2009). *Pruebas de Hipótesis*. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
- Salazar Ceballos, A. (2013). *Coefficiente de Correlación de Pearson*. Universidad del Magdalena, Magdalena.
- Sanpedro Rodriguez, A. (1997). *Tratamientos de suelos con Cal*. Madrid: Editorial Ancade
- Rico Rodriguez, A., & Del Castillo, H. (2005). " *Ingeniería de suelos en las vías terrestres*". Mexico: Limusa.
- Ruano Lopez, D. R. (2012). *Estabilización De Suelos Cohesivos*, Guatemala: Universidad De San Carlos De Guatemala.
- Universidad Católica Del Norte, C. (2013). *Mecánica de Suelos* <http://www3.ucn.cl/facultadesinstitutos/laboratorio/aashtom2>
- Villalaz, c. Crespo (2004). " *Mecánica De Suelos Y Cimentaciones*". Mexico: Limusa.



# CAPITULO VII.

---

# ANEXOS

**7.1. PANEL FOTOGRAFICO**



*Ilustración 20 Equipos, Materiales y mezclado de Muestra con Humedad Optima y Cal*



*Ilustración 21 Muestra dividida en 5 partes y Compactado de Muestra*



*Ilustración 22 Lectura de Expansion y Saturado de la Muestra*



*Ilustración 23 Drenado de Muestra, Lectura de Expansion y Rotura de Muestra en la Prensa*



*Ilustración 24 Muestras despues de la Penetracion con la Prensa*

## 7.2. COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON**

**PROYECTO :** "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"  
**REALIZADO:** BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
**CANTERA:** CHULLUNQUIANI

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA C.B.R A 56 GOLPES**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	30.00	0	900	0
2	2	55.00	4	3025	110
3	4	77.00	16	5929	308
4	6	90.00	36	8100	540
5	8	94.00	64	8836	752
6	10	117.00	100	13689	1170
6	30	463	220	40479	2880

<b>r =</b>	<b>0.9797</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.9599</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>
<b>t =</b>	<b>9.7861</b>

<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>p =</b>	<b>0.0051</b>

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA EL INDICE DE PLASTICIDAD**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	14.30	0	204.49	0
2	2	12.11	4	146.6521	24.22
3	4	9.12	16	83.1744	36.48
4	6	5.56	36	30.9136	33.36
5	8	3.58	64	12.8164	28.64
6	10	1.19	100	1.4161	11.9
6	30	45.86	220	479.4626	134.6

<b>r =</b>	<b>-0.9968</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.9936</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>
<b>t =</b>	<b>-24.9419</b>

<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>p =</b>	<b>-0.0020</b>

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA LA EXPANSION**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	(0.44)	0	0.1936	0
2	2	0.07	4	0.0049	0.14
3	4	0.15	16	0.0225	0.6
4	6	0.22	36	0.0484	1.32
5	8	0.21	64	0.0441	1.68
6	10	0.15	100	0.0225	1.5
6	30	0.36	220	0.336	5.24

<b>r =</b>	<b>0.7333</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.5377</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>
<b>t =</b>	<b>2.1569</b>

<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>p =</b>	<b>0.0234</b>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON**

**PROYECTO :** "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"

**REALIZADO:** BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA

**CANTERA:** TAPARACHI

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA C.B.R A 56 GOLPES**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	42.00	0	1764	0
2	2	93.00	4	8649	186
3	4	116.00	16	13456	464
4	6	144.00	36	20736	864
5	8	163.00	64	26569	1304
6	10	164.00	100	26896	1640
6	30	722	220	98070	4458

<b>r =</b>	<b>0.9582</b>	<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.9181</b>	<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>	<b>p =</b>	<b>0.0075</b>
<b>t =</b>	<b>6.6962</b>		

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA EL INDICE DE PLASTICIDAD**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	14.12	0	199.3744	0
2	2	9.04	4	81.7216	18.08
3	4	7.27	16	52.8529	29.08
4	6	4.56	36	20.7936	27.36
5	8	0.99	64	0.9801	7.92
6	10	0.02	100	0.0004	0.2
6	30	36	220	355.723	82.64

<b>r =</b>	<b>-0.9845</b>	<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.9692</b>	<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>	<b>p =</b>	<b>-0.0045</b>
<b>t =</b>	<b>-11.2116</b>		

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON PARA LA EXPANSION**

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	0	(0.55)	0	0.3025	0
2	2	0.09	4	0.0081	0.18
3	4	0.04	16	0.0016	0.16
4	6	0.33	36	0.1089	1.98
5	8	0.21	64	0.0441	1.68
6	10	0.21	100	0.0441	2.1
6	30	0.33	220	0.5093	6.1

<b>r =</b>	<b>0.7589</b>	<b>α =</b>	<b>0.0500</b>
<b>r<sup>2</sup> =</b>	<b>0.5760</b>	<b>t (tabla T de Student) =</b>	<b>2.0150</b>
<b>G.L =</b>	<b>5.0000</b>	<b>p =</b>	<b>0.0216</b>
<b>t =</b>	<b>2.3310</b>		

### 7.3. FICHA DE INVENTARIO DE CANTERAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

---

## FICHA DE INVENTARIO DE CANTERAS

**PROYECTO: "TESIS GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"**

DENOMINACION DE CANTERA : CANTERA # 01  
 DEPARTAMENTO : PUNO

LOCALIZACION
CARRETERA: VIA JULIACA CABANILLAS
TRAMO:
KM ó REFERENCIA: 6km
LADO: DERECHO
DISTANCIA AL EJE ó REFERENCIA : 1000m

UBICACIÓN DE LA CANTERA

ACCESO
PAVIMENTO: <input type="checkbox"/>
AFIRMADO: <input type="checkbox"/>
TROCHA: <input type="checkbox"/>
SENDERO: <input type="checkbox"/>
SIN ACCESO: <input type="checkbox"/>

PROPIEDAD
PRIVADA: <input type="checkbox"/>
PUBLICA: <input type="checkbox"/>
MTC: <input type="checkbox"/>

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL			
CLASIFICACION AASHTO :	A-2-6(0)		
CLASIFICACION SUCS:	GRAVA MAL GRADUADA CON SP	NATURAL	CBR al 100 % : 30% CBR al 95 % : 21% CBR al 100 % : 55%
TAMAÑO MAXIMO :		2 % CAL	CBR al 95 % : 30% CBR al 100 % : 77%
PORCENTAJE MAYOR 1 1/2"	0.00%	4 % CAL	CBR al 95 % : 35% CBR al 100 % : 90%
PORCENTAJE MAYOR 1/4"	79.82%	6 % CAL	CBR al 95 % : 34% CBR al 100 % : 94%
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318):	30.69%	8 % CAL	CBR al 95 % : 47% CBR al 100 % : 117%
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318):	16.39%	10 % CAL	CBR al 100 % : 117% CBR al 95 % : 104%
INDICE PLASTICO (ASTM D4318)	14.30%		
MAXIMA DENSIDAD SECA	2.064		
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD:	9.40%		

% DE CAL	CBR al 95 %	CBR al 100 %	C.B.R. MINIMO
0%	21%	30%	30%
2%	30%	77%	30%
4%	35%	90%	30%
6%	34%	94%	30%
8%	47%	117%	30%
10%	117%	104%	30%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



## FICHA DE INVENTARIO DE CANTERAS

**PROYECTO: "TESIS GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"**

DENOMINACION DE CANTERA : CANTERA # 02  
 DEPARTAMENTO : PUNO

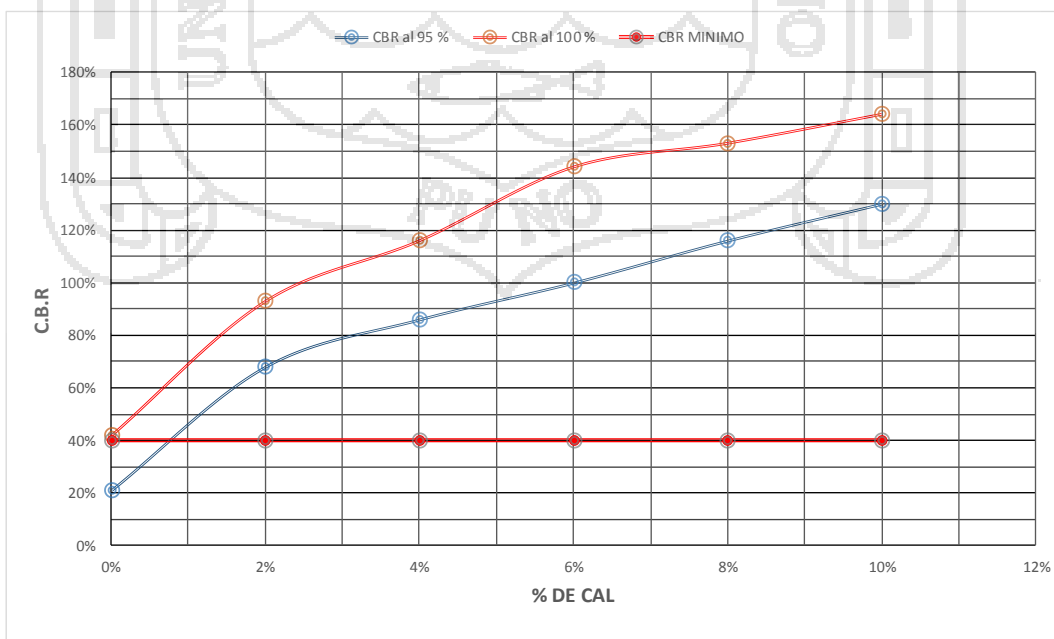
LOCALIZACION
CARRETERA: VIA JULIACA PUNO
TRAMO:
KM ó REFERENCIA: 2KM
LADO: DERECHO
DISTANCIA AL EJE ó REFERENCIA : 500m



ACCESO
PAVIMENTO: <input type="checkbox"/>
AFIRMADO: <input type="checkbox"/>
TROCHA: <input type="checkbox"/>
SENDERO: <input type="checkbox"/>
SIN ACCESO: <input type="checkbox"/>

PROPIEDAD
PRIVADA: <input type="checkbox"/>
PUBLICA: <input type="checkbox"/>
MTC: <input type="checkbox"/>

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL			
CLASIFICACION AASHTO :	A-2-6(0)		CBR al 100 % 42%
CLASIFICACION SUCS:	ARENA BIEN GRADUADA CON GRAVA SW	NATURAL	CBR al 95 % 21%
			CBR al 100 % 93%
TAMANO MAXIMO :		2 % CAL	CBR al 95 % 68%
PORCENTAJE MAYOR 1 1/2"	4.85%		CBR al 100 % 116%
PORCENTAJE MAYOR 3/4"	37.96%	4 % CAL	CBR al 95 % 86%
PORCENTAJE PASA # 200:	0.13%		CBR al 100 % 144%
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318):	29.46%	6 % CAL	CBR al 95 % 100%
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318):	15.34%		CBR al 100 % 153%
INDICE PLASTICO (ASTM D4318)	14.12%	8 % CAL	CBR al 95 % 116%
MAXIMA DENSIDAD SECA	2.083		CBR al 100 % 164%
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD:	8.85%	10 % CAL	CBR al 95 % 130%



7.4. CERTIFICADOS DE LABORATORIO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE QUIMICA



03805

IQ-2014

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA de: CANTERA Km 6

**PROCEDENCIA** : Cantera ubicada en la salida Arequipa Km 6, Chullunquiani, autopista: Héroes de la Guerra del Pacífico.

**PROYECTO** : Tesis: "guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román".

**INTERESADO** : Bach. Edwin Ever Palli Apaza

**MOTIVO** : Control de calidad.

**MUESTREO** : 07/04/2014, por el interesado.

**ANÁLISIS** : 08/04/'014

---

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:**

**ASPECTO** : Líquido

**COLOR** : Incoloro

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

pH	: 7,3
----	-------

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	: 314,60 mg/l
Cloruros como Cl	: 41,20 mg/l
Sulfatos como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 98,12 mg/l
Sólidos totales	: 454,14 mg/l
Sólidos Disueltos Totales	: 420,00 mg/l
Conductividad	: 1142,12 µS/cm

---

**INTERPRETACIÓN**

- 1.- Las características físico químicas son normales
- 2.- Las características químicas se encuentran dentro de los límites técnicos establecidos

Puno, C.U. 13 de mayo de 2014.



*[Signature]*  
DECANO F.I.Q.  
UNA - PUNO



*[Signature]*

---

Ciudad Universitaria Av. Floral sin Facultad de Ingeniería Química - Pedregón 94 - Telefex: (091)368142 - 352992



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**LABORATORIO DE QUIMICA - 03808**


10-2014

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de muestra de: CAL  
**PROYECTO** : Tesis: "guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Ramón"  
**INTERESADO** : Bach. Edwin Ever Palli Apaza  
**MOTIVO** : Control de calidad  
**MUESTREO** : 28/04/2014, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 28/04/2014

### CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

**ASPECTO** : Sólido  
**COLOR** : Blanco

### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Parámetro	Valor	Unidad	Método
Cal útil como CaO	68.64	%	Volumetría

### INTERPRETACIÓN

Los resultados están expresados sobre base seca

Puno, C.U. 27 de mayo de 2014.  
 vgo



Dr. Edwin G. Boza Condorena  
 DECANO F.Q.  
 UNA - PUNO





Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE QUIMICA**

03812



10-2014

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de MUESTRA DE SUELO  
**PROCEDENCIA** : Carretera ubicada en la salida Arequipa Km 6, Chullunquiari, autopista: Héroes de la Guerra del Pacífico  
**PROYECTO** : Tesis: "guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román"  
**INTERESADO** : Bach. Edwin Ever-Palti Apaza  
**MOTIVO** : Control de calidad  
**MUESTREO** : 28/04/2014, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 28/04/2014

### CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

**ASPECTO** : Sólido  
**COLOR** : Café claro

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 7,4  
 Cloruros como Cl<sup>-</sup> : 18,20 mg/l  
 Sulfatos como SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> : 36,00 mg/l  
 Conductividad : 1142,12 µS/cm  
 Cus. totales : POSITIVO

### INTERPRETACIÓN

Los resultados están expresados sobre base seca

Puno, C.U. 13 de mayo de 2014.  
 yepg

Dr. Edwin G. Baza Condorena  
 DECANO F.L.Q.  
 UNA - PUNO

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA  
 LABORATORIO DE QUÍMICA  
 FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA  
 UNA - PUNO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**LABORATORIO DE QUIMICA**

- 03807



10-2014

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : ENSAYO ESTANDAR PARA ESTABILIZACION DE SUELOS ASTM D-6276

**PROCEDENCIA** : Carretera ubicada en la carretera salida Arequipa Km 6, Chullunquiani, autopista: Héroes de la Guerra del Pacifico

**PROYECTO** : Tesis: "Guía Básica para estabilización de suelos con cal, en caminos de baja intensidad vehicular, en la provincia de San Román"

**INTERESADO** : Bach. Edwin Ever Palli Apaza

**MOTIVO** : Control de calidad

**MUESTREO** : 28/04/2014, por el interesado

**ANÁLISIS** : 28/04/2014

**TIPO DE CAL** : CAL HIDRATADA BAJO ESPECIFICACIÓN ASTM C-977

No de muestra	% Cal	Peso de Suelo (g)	Peso de Cal (g)	Cantidad de Agua (ml)	Valor de PH (unidades)
1	0	25	0,00	100	7,0
2	1	25	0,25	100	12,4
3	2	25	0,50	100	12,7
4	3	25	0,75	100	12,8
5	4	25	1,00	100	13,0
6	5	25	1,25	100	13,2
7	6	25	1,50	100	13,2
8	7	25	1,75	100	13,2
9	8	25	2,00	100	13,3
10	9	25	2,25	100	13,3
Condición saturada			2,00	100	13,3
Agua					7,3

**Método:** ENSAYO ESTANDAR, USANDO EL pH PARA ESTIMAR LA PROPORCION SUELO-CAL REQUERIDA PARA LA ESTABILIZACION DE SUELOS"

**Observaciones:**

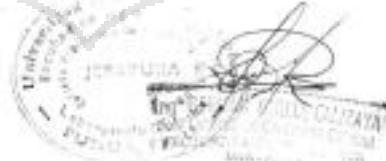
1.- Estabilizar el suelo con 1 % de Cal.

Puno, C.U. 27 de Mayo de 2014.

VºBº



Bach. Edwin G. Baza Condorena  
 DECANO F.I.Q.  
 UNA - PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



## **CERTIFICADO**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE SUELOS Y MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA CIVIL**

### **CERTIFICA:**

Que el Sr. Edwin Ever PALLI APAZA, con DNI N° 45711430 Bachiller en Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Ha realizado ensayos de laboratorio para la investigación de su tesis: "GLIJA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN", del cual doy fe.


Dichos ensayos son los siguientes:

- 03 Ensayo de Contenido de Humedad.
- 03 Ensayo de Análisis Granulométrico.
- 03 Ensayo de Limite Líquido.
- 03 Ensayo de Limite Plástico.
- 03 Ensayos de Proctor modificado.
- 03 Ensayos de CBR.
- 03 Ensayo de Limite Líquido Suelo-Cal.
- 03 Ensayo de Limite Plástico Suelo-Cal.
- 03 Ensayos de Proctor modificado Suelo-Cal.
- 03 Ensayos de CBR Suelo-Cal.

Se expide el presente certificado a solicitud de los interesados.

Puno, C.U. 09 de Julio del 2014.



  
Ing. SAMUEL HUALASTO CÁCERES  
Reg. CIP. N° 105300  
Jefe de Laboratorio





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**COSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO  
DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE  
SUELOS Y MATERIALES DE LA FICA**

**Hace constar:**

Que el tesista, conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil Bach: **Edwin Ever, PALLI APAZA**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: "GUÍA BÁSICA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN".

Los ensayos que realizó son los siguientes.

Nº	ENSAYOS	CANTIDAD
1	Contenido de Humedad	1
2	Análisis granulométrico	1
3	Proctor modificado	1
4	C.B.R.	15
5	Límite Líquido	4
6	Límite Plástico	4

*Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.*

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, E. U. 21 de Julio del 2015.



**Dr. SAMUEL HUAQUESTO CAJALAN**  
Reg. CIP. Nº 105301  
Jefe de Laboratorio

**7.5. ENSAYOS Y FICHAS DE OBSERVACION DE SUELO EN LABORATORIO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 653-90, NTP 339.127, MTC E-118-2000)**

<b>TESIS:</b>	"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN "
<b>SOLICITADO:</b>	BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA
<b>LUGAR :</b>	JULIACA - PROVINCIA DE SAN ROMAN
<b>CANTERA</b>	CHULLUNQUIANI

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CA PSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	238.96	204.67	214.83	217.58
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	219.24	189.31	197.16	199.95
AGUA	gr.	19.72	15.36	17.67	17.63
PESO DE LA CAPSULA	gr.	33.7	37.65	35.47	35.56
PESO DEL SUELO SECO	gr.	185.54	151.66	161.69	164.39
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	<b>10.63%</b>	<b>10.13%</b>	<b>10.93%</b>	<b>10.72%</b>
CONTENIDO DE HUMEDAD	N	<b>10.60%</b>			



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)  
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

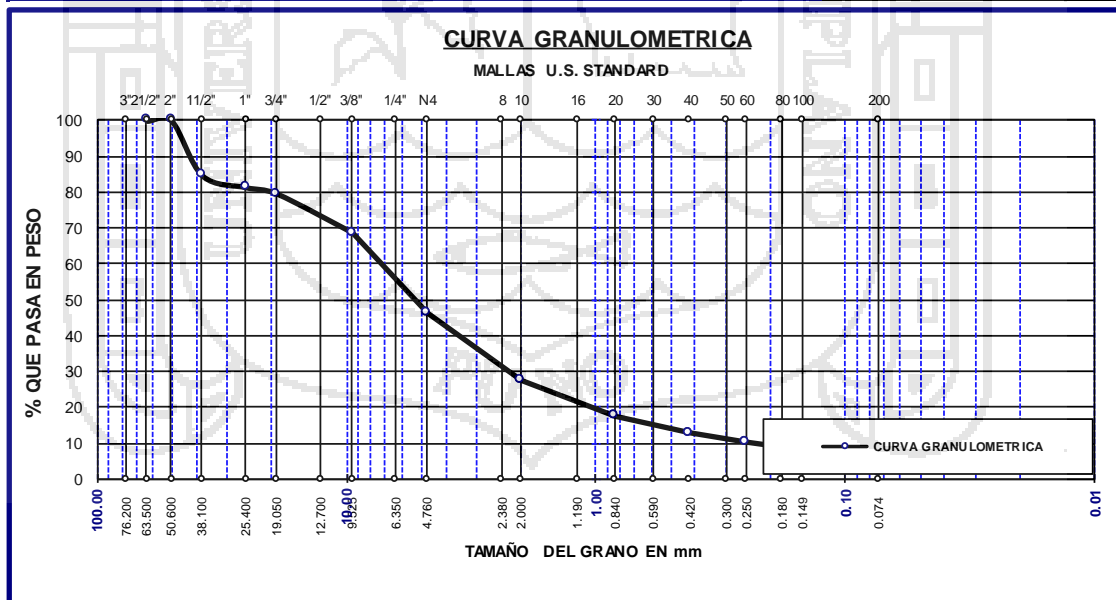
**TESIS:** "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"

**LUGAR :** JULIACA

**FECHA:** 14/03/2014

**SOLICITADO:** BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
**CANERA:** CHULLUNQUIANI

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00		P. I. = 3776.38
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P. L. = 376.01
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100 100	P. P. = 61.37
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b> L. L. = 30.69% L. P. = 16.39% I. P. = 14.30%
1"	25.400	111.25	2.95	2.95	97.05	90 100	
3/4"	19.050	300.00	7.94	10.89	89.11	65 100	<b>CHARACT. GRANULOMETRICAS:</b> D10= 30.690 Cu= 1 D30= 30.690 Cc= 1 D60= 30.69
1/2"	12.700	9.525	9.29	20.18	79.82	45 80	
3/8"	9.525	351.00	9.29	20.18	79.82		<b>CLASIFICACION:</b> S.U.C.S. : ARENA MAL GRADUADA CON SP  AASHTO: A-2-6 (0)
1/4"	6.350	759.55	20.11	40.30	59.70	30 65	
No4	4.760	759.55	20.11	40.30	59.70		<b>GRAVA Y AENA ARCILLOSA O LIMOSA</b>
No8	2.380	636.47	16.85	57.15	42.85	22 52	
No10	2.000	636.47	16.85	57.15	42.85		<b>OBSERVACIONES:</b> Muestreado por el Solicitante
No16	1.190	338.74	8.97	66.12	33.88		
No20	0.840	338.74	8.97	66.12	33.88		
No30	0.590	525.00	13.90	80.02	19.98	15 35	
No40	0.420	187.00	4.95	84.98	15.02		
No 50	0.300	173.00	4.58	89.56	10.44		
No60	0.250	173.00	4.58	89.56	10.44		
No80	0.180	333.00	8.82	98.37	1.63	5 20	
No100	0.149	333.00	8.82	98.37	1.63		
No200	0.074	61.37	1.63	100.00	0.00		
<b>BASE</b>		61.37	1.63	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		3776.38	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR : JULIACA

SOLICITADO : BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA : CHULLUNQUIANI

FECHA:

**LIMITE LIQUIDO**

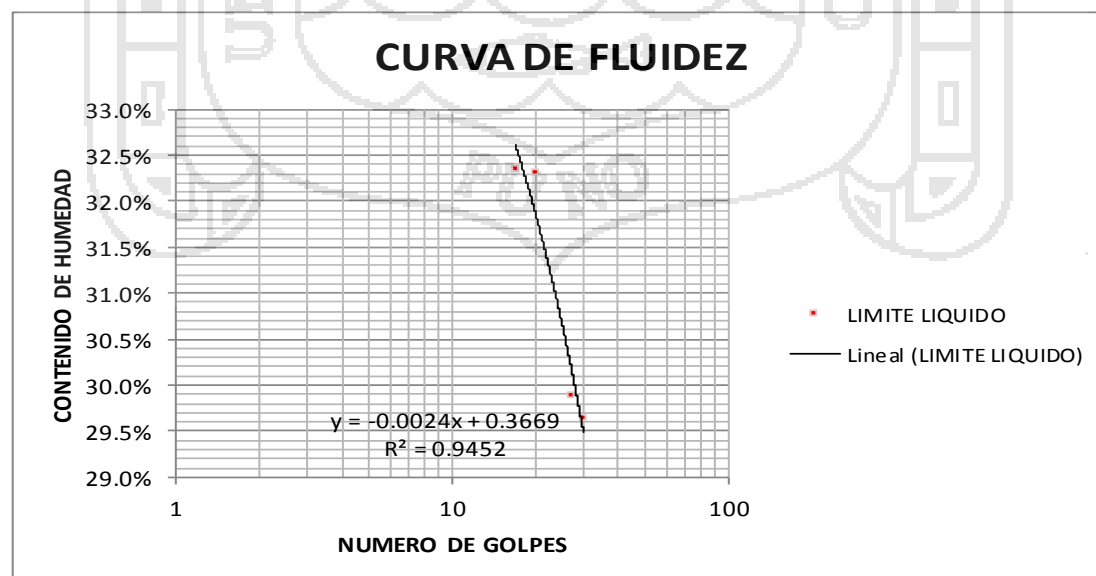
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	38.47	37.99	38.52	37.25
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.72	32.63	33.49	32.39
AGUA	gr.	4.75	5.36	5.03	4.86
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.04	16.04	16.66	15.99
PESO DEL SUELO SECO	gr.	14.68	16.59	16.83	16.40
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	<b>32.36%</b>	<b>32.31%</b>	<b>29.89%</b>	<b>29.63%</b>
NUMERO DE GOLPES	N	17	20	27	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	A-4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	17.89	20.47	16.78	17.5
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	17.66	20.16	16.62	17.35
AGUA	gr.	0.23	0.31	0.16	0.15
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.25	18.38	15.60	16.42
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.41	1.78	1.02	0.93
LIMITE PLASTICO	%	<b>16.31%</b>	<b>17.42%</b>	<b>15.69%</b>	<b>16.13%</b>

LIMITE LIQUIDO	<b>30.69%</b>
LIMITE PLASTICO	<b>16.39%</b>
INDICE DE PLASTICIDAD	<b>14.30%</b>

**CURVA DE FLUIDEZ**





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"  
 SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 2%

LUGAR: JULIACA  
 FECHA:

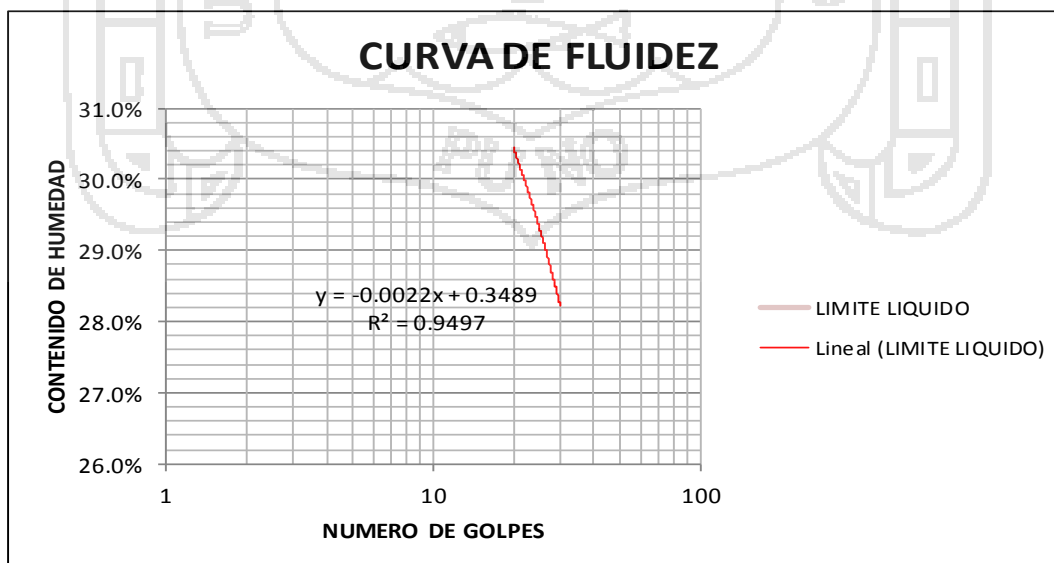
**LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	37.55	30.68	29.34	31.72
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	32.6	27.82	26.50	28.5
AGUA	gr.	4.95	2.86	2.84	3.22
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.24	18.40	16.69	16.99
PESO DEL SUELO SECO	gr.	16.36	9.42	9.81	11.51
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	<b>30.26%</b>	<b>30.36%</b>	<b>28.95%</b>	<b>27.98%</b>
NUMERO DE GOLPES	N	20	21	28	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	23.01	20.64	21.17
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	22.81	20.47	20.94
AGUA	gr.	0.2	0.17	0.23
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.64	19.51	19.59
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.17	0.96	1.35
LIMITE PLASTICO	%	<b>17.09%</b>	<b>17.71%</b>	<b>17.04%</b>

LIMITE LIQUIDO	<b>29.39%</b>
LIMITE PLASTICO	<b>17.28%</b>
INDICE DE PLASTICIDAD	<b>12.11%</b>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO : CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA: CHULLUNQUIANI FECHA:  
% DE CAL: 4%

**LIMITE LIQUIDO**

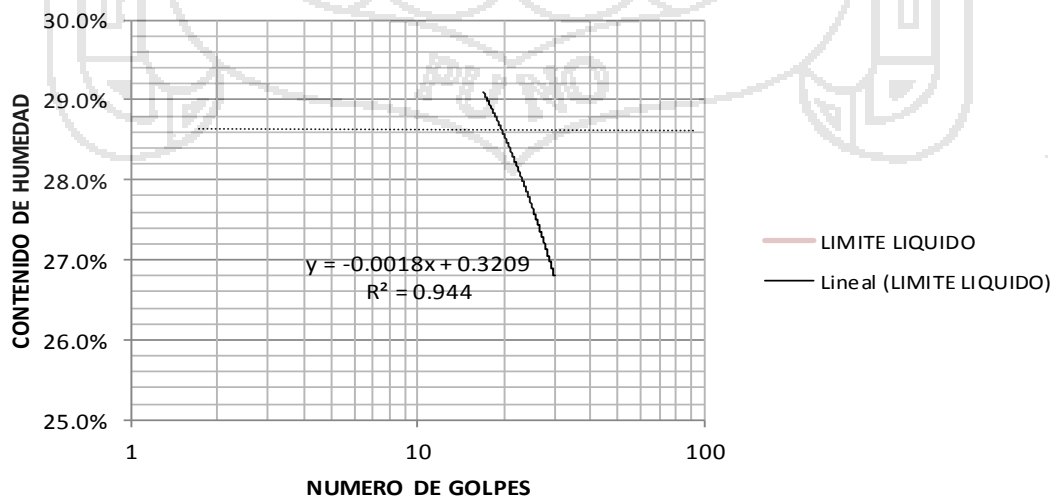
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	31.86	35.79	33.21	35.73
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	29.52	32.8	29.49	32.3
AGUA	gr.	2.34	2.99	3.72	3.43
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.47	22.22	15.78	19.34
PESO DEL SUELO SECO	gr.	8.05	10.58	13.71	12.96
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	29.07%	28.26%	27.13%	26.47%
NUMERO DE GOLPES	N	17	22	30	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	23.28	18.03	19.91
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	22.94	17.75	19.45
AGUA	gr.	0.34	0.28	0.46
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.08	16.26	16.94
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.86	1.49	2.51
LIMITE PLASTICO	%	18.28%	18.79%	18.33%

LIMITE LIQUIDO	27.59%
LIMITE PLASTICO	18.47%
INDICE DE PLASTICIDAD	9.12%

**CURVA DE FLUIDEZ**





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
 PROYECTO : CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 6%

**LIMITE LIQUIDO**

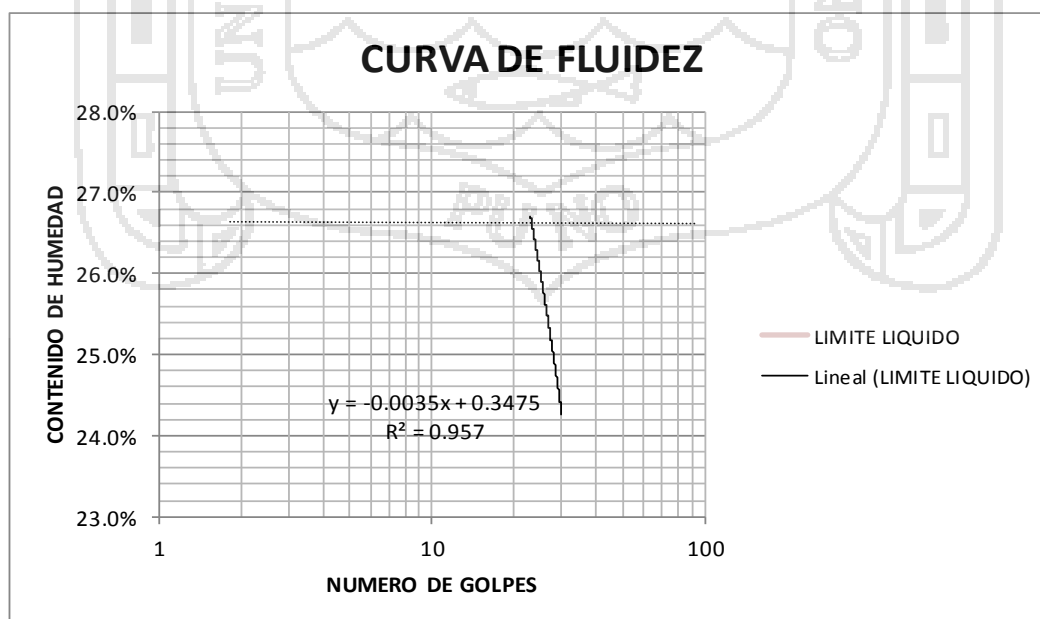
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	31.59	30.82	27.57	29.8
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	28.83	27.8	25.36	27.02
AGUA	gr.	2.76	3.02	2.21	2.78
PESO DE LA CAPSULA	gr.	18.6	16.22	16.6	15.6
PESO DEL SUELO SECO	gr.	10.23	11.58	8.76	11.42
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	26.98%	26.08%	25.23%	24.34%
NUMERO DE GOLPES	N	23	24	27	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	A-4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.83	19.73	25.9	
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	20.18	19.13	25.18	
AGUA	gr.	0.65	0.6	0.72	
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.94	16.26	21.64	
PESO DEL SUELO SECO	gr.	3.24	2.87	3.54	
LIMITE PLASTICO	%	20.06%	20.91%	20.34%	

LIMITE LIQUIDO	26.00%
LIMITE PLASTICO	20.44%
INDICE DE PLASTICIDAD	5.56%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: CHULLUNQUIANI  
% DE CAL: 8%

**LIMITE LIQUIDO**

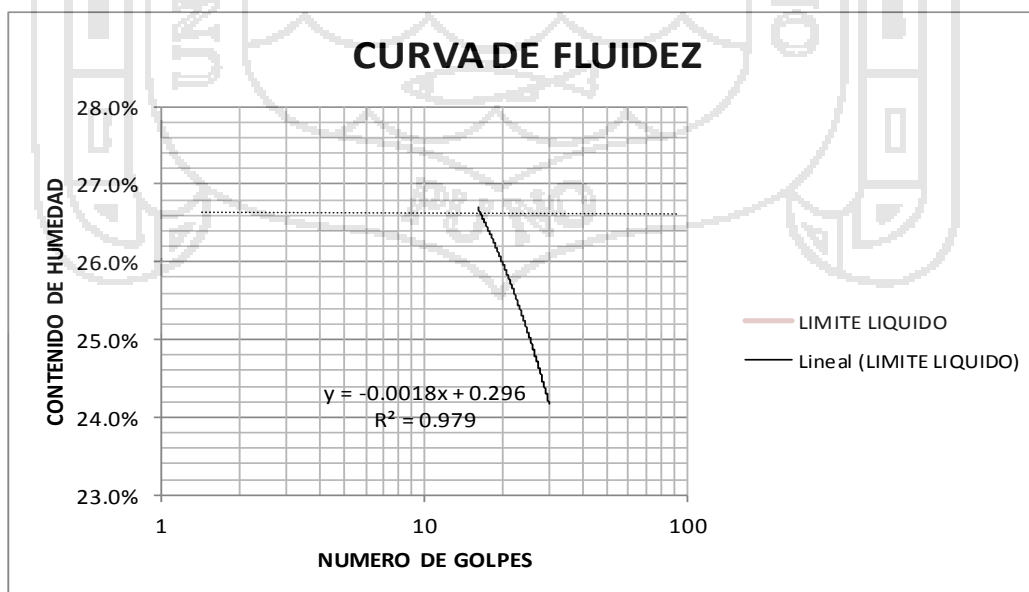
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	32.15	33.84	35.03	29.75
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	29.6	31.43	32.37	27.17
AGUA	gr.	2.55	2.41	2.66	2.58
PESO DE LA CAPSULA	gr.	20.08	22.09	21.69	16.45
PESO DEL SUELO SECO	gr.	9.52	9.34	10.68	10.72
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	26.79%	25.80%	24.91%	24.07%
NUMERO DE GOLPES	N	16	20	27	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	A-4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.94	23.3		
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	20.69	22.9		
AGUA	gr.	0.25	0.4		
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.51	21.07		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.18	1.83		
LIMITE PLASTICO	%	21.19%	21.86%		

LIMITE LIQUIDO	25.10%
LIMITE PLASTICO	21.52%
INDICE DE PLASTICIDAD	3.58%

**CURVA DE FLUIDEZ**







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: CHULLUNQUIANI  
% DE CAL: 10%

**LIMITE LIQUIDO**

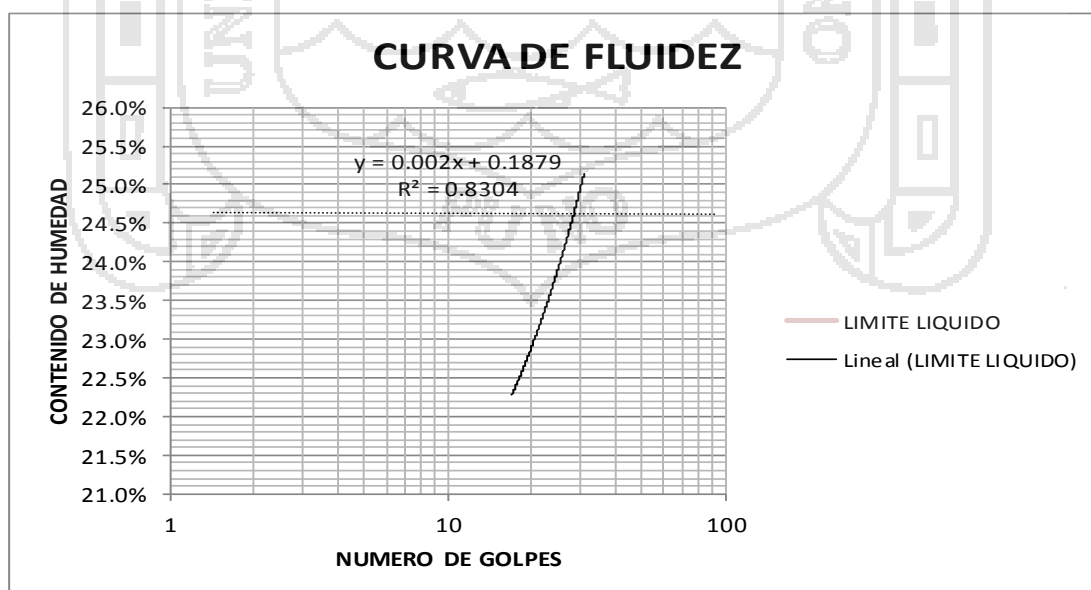
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	32.15	33.84	35.03	29.75
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	29.9	31.71	32.42	27.05
AGUA	gr.	2.25	2.13	2.61	2.7
PESO DE LA CAPSULA	gr.	20.08	22.09	21.69	16.45
PESO DEL SUELO SECO	gr.	9.82	9.62	10.73	10.60
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	22.91%	22.14%	24.32%	25.47%
NUMERO DE GOLPES	N	17	20	28	31

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	A-4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	21.94	24.3		
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	21.68	23.89		
AGUA	gr.	0.26	0.41		
PESO DE LA CAPSULA	gr.	20.52	22.09		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.16	1.8		
LIMITE PLASTICO	%	22.41%	22.78%		

LIMITE LIQUIDO	23.79%
LIMITE PLASTICO	22.60%
INDICE DE PLASTICIDAD	1.19%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**CONTENIDO DE HUMEDAD**

PROYECTO "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA LUGAR: JULIACA

SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:

CANTERA: TAPARACHI

% DE CAL:

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	86.14	85.57	61.23	105.25
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	83.33	82.5	59.22	101.95
AGUA	gr.	2.81	3.07	2.01	3.3
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.82	17.83	22.2	22.16
PESO DEL SUELO SECO	gr.	61.51	64.67	37.02	79.79
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.57%	4.75%	5.43%	4.14%
CONTENIDO DE HUMEDAD	N	4.72%			



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



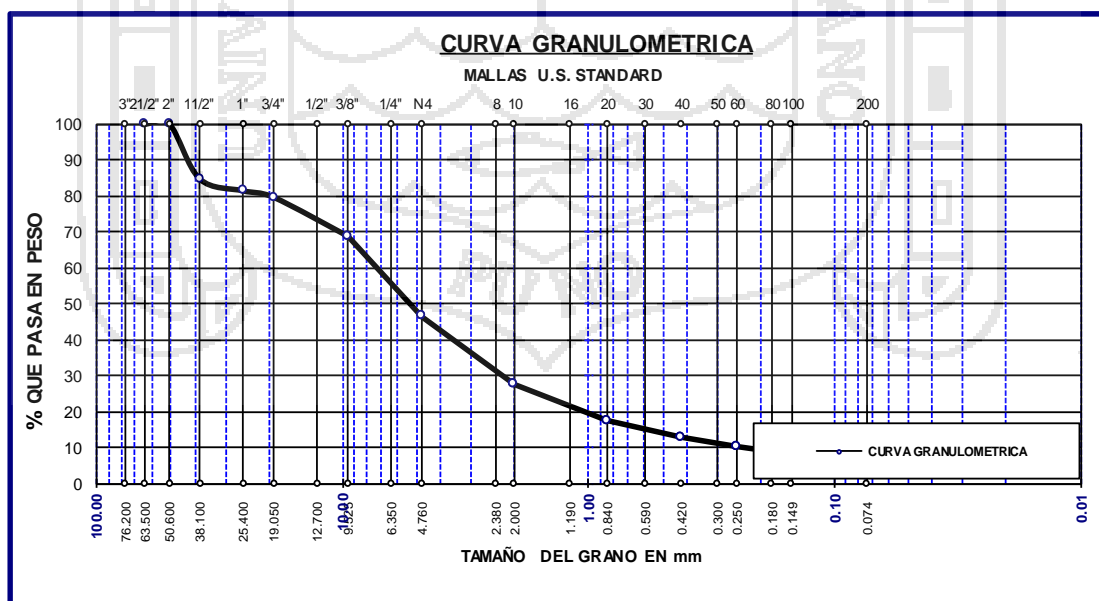
**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)  
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

**"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN  
PROYECTO : CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA  
DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA**

**SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:**

**CANTERA: TAPARACHI**

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00		P. I. = 2060.06
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P. L. = 2057.40
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100 100	P. P. = 2.66
1 1/2"	38.100	100.00	4.85	4.85	95.15		<b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b> L. L. = 29.46% L. P. = 15.34% I. P. = 14.12%
1"	25.400	28.00	1.36	6.21	93.79	90 100	
3/4"	19.050	121.00	5.87	12.09	87.91	65 100	
1/2"	12.700	186.00	9.03	21.12	78.88		
3/8"	9.525	104.00	5.05	26.16	73.84	45 80	<b>CARACT. GRANULOMETRICAS:</b> D10= 29.460 Cu= 1 D30= 29.460 Cc= 1 D60= 29.46
1/4"	6.350	243.00	11.80	37.96	62.04		
No4	4.760	176.00	8.54	46.50	53.50	30 65	
No8	2.380						
No10	2.000	507.36	24.63	71.13	28.87	22 52	<b>CLASIFICACION:</b> S.U.C.S. : ARENA BIEN GRADUADA CON GRAVA SW <b>AASHTO: A-2-6 (0)</b>
No16	1.190						
No20	0.840	241.32	11.71	82.85	17.15		
No30	0.590						
No40	0.420	98.50	4.78	87.63	12.37	15 35	<b>GRAVA Y ARENA ARCILLOSA O LIMOSA</b>
No 50	0.300						
No60	0.250	127.53	6.19	93.82	6.18		
No80	0.180						
No100	0.149	28.32	1.37	95.19	4.81		<b>OBSERVACIONES: Muestreado por el Solicitante</b>
No200	0.074	96.37	4.68	99.87	0.13	5 20	
<b>BASE</b>		2.66	0.13	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		2060.06	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR: JULIACA  
FECHA:

SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 0%

**LIMITE LIQUIDO**

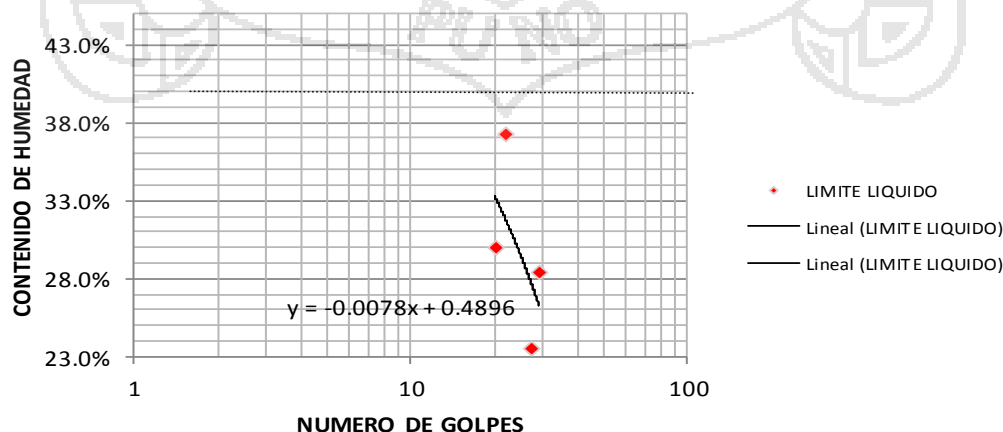
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	37.54	33.34	39.2	33.94
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.99	30.18	34.74	30.61
AGUA	gr.	3.55	3.16	4.46	3.33
PESO DE LA CAPSULA	gr.	22.17	21.70	15.79	18.91
PESO DEL SUELO SECO	gr.	11.82	8.48	18.95	11.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	30.03%	37.26%	23.54%	28.46%
NUMERO DE GOLPES	N	20	22	27	29

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	A-4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	24.29	20.33	18.80	25.27
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	23.98	19.9	18.46	24.78
AGUA	gr.	0.31	0.43	0.34	0.49
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.91	17.1	16.27	21.62
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2.07	2.8	2.19	3.16
LIMITE PLASTICO	%	14.98%	15.36%	15.53%	15.51%

LIMITE LIQUIDO	29.46%
LIMITE PLASTICO	15.34%
INDICE DE PLASTICIDAD	14.12%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR: JULIACA  
FECHA:

SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 2%

**LIMITE LIQUIDO**

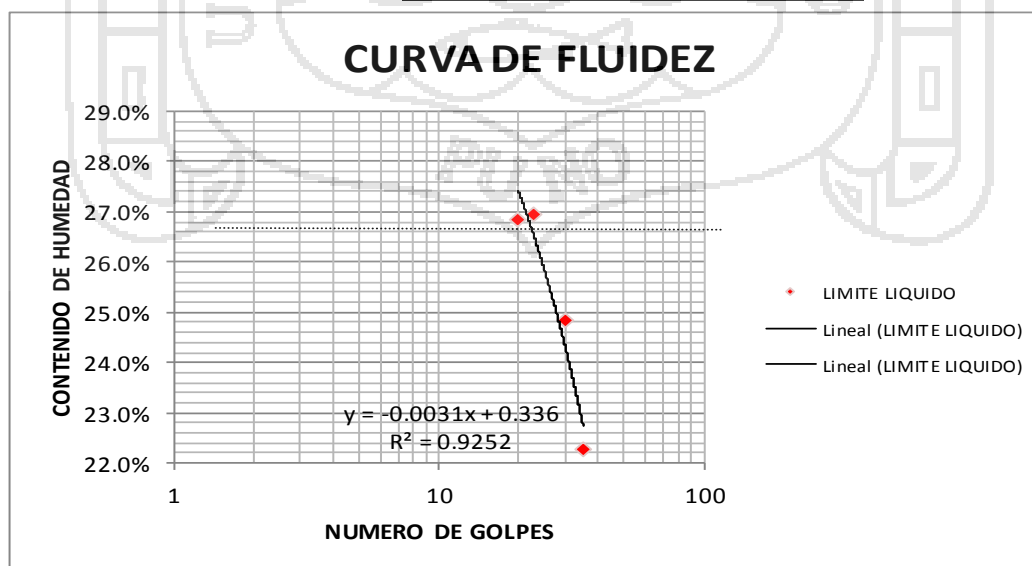
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	32.9	37.1	39.88	36.47
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	30.06	33.58	36.01	32.64
AGUA	gr.	2.84	3.52	3.87	3.83
PESO DE LA CAPSULA	gr.	17.32	19.42	21.59	18.43
PESO DEL SUELO SECO	gr.	12.74	14.16	14.42	14.21
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	22.29%	24.86%	26.84%	26.95%
NUMERO DE GOLPES	N	35	30	20	23

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3	
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	21.96	18.71	24.20	
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	21.65	18.37	23.89	
AGUA	gr.	0.31	0.34	0.31	
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.75	16.45	22.00	
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.90	1.92	1.89	
LIMITE PLASTICO	%	16.32%	17.71%	16.40%	

LIMITE LIQUIDO	25.85%
LIMITE PLASTICO	16.81%
INDICE DE PLASTICIDAD	9.04%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR: JULIACA  
FECHA:

SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 4%

**LIMITE LIQUIDO**

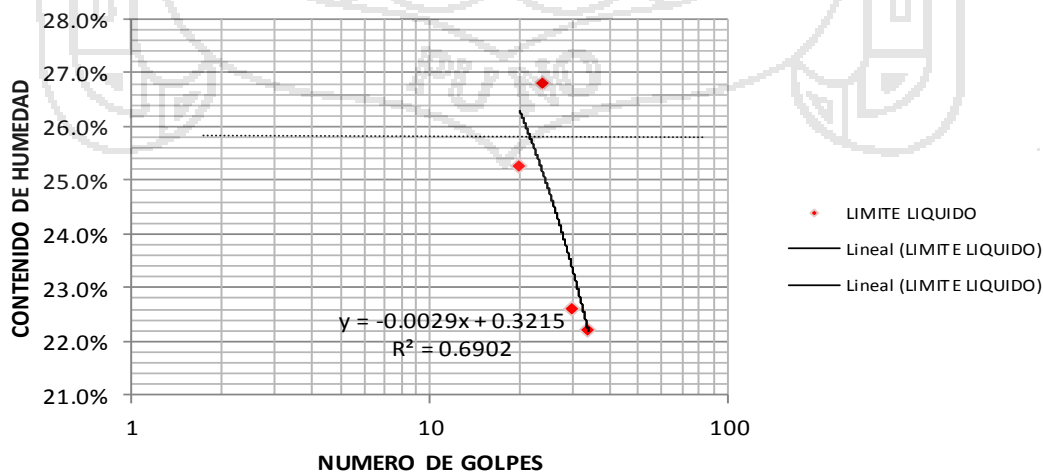
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	38.12	40.69	35.59	30.31
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	34.94	36.78	32.95	27.78
AGUA	gr.	3.18	3.91	2.64	2.53
PESO DE LA CAPSULA	gr.	22.36	22.20	21.07	16.59
PESO DEL SUELO SECO	gr.	12.58	14.58	11.88	11.19
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	25.28%	26.82%	22.22%	22.61%
NUMERO DE GOLPES	N	20	24	34	30

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	23.89	21.3	19.03
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	23.61	20.63	18.62
AGUA	gr.	0.28	0.67	0.41
PESO DE LA CAPSULA	gr.	22.08	16.87	16.27
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.53	3.76	2.35
LIMITE PLASTICO	%	18.30%	17.82%	17.45%

LIMITE LIQUIDO	24.90%
LIMITE PLASTICO	17.63%
INDICE DE PLASTICIDAD	7.27%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR: JULIACA

SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA

FECHA:

CANTERA: TAPARACHI

% DE CAL: 6%

**LIMITE LIQUIDO**

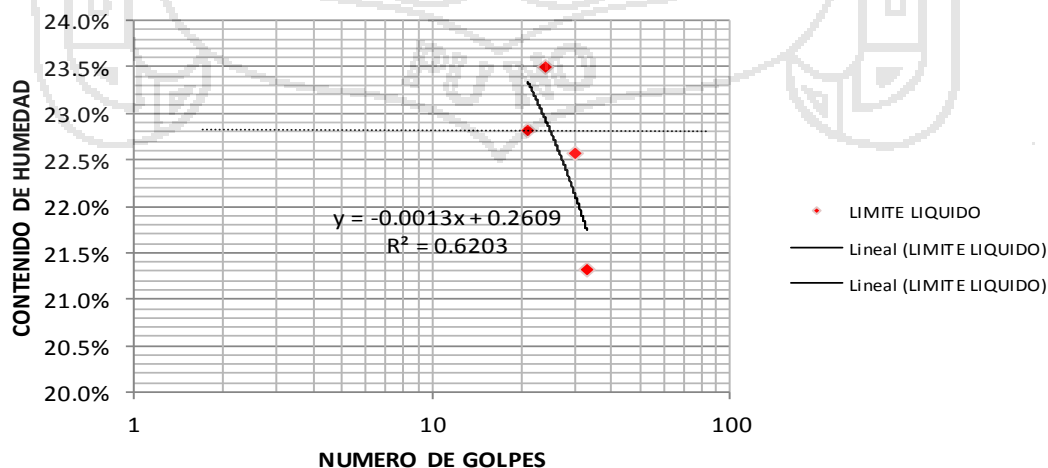
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	36.4	28.24	31.74	28.17
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	32.95	25.91	29.12	26.06
AGUA	gr.	3.45	2.33	2.62	2.11
PESO DE LA CAPSULA	gr.	17.66	15.99	16.82	16.81
PESO DEL SUELO SECO	gr.	15.29	9.92	12.3	9.25
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	22.56%	23.49%	21.30%	22.81%
NUMERO DE GOLPES	N	30	24	33	21

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	19.63	24.9	23.80
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	19.14	24.4	23.07
AGUA	gr.	0.49	0.5	0.73
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.42	21.64	19.11
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2.72	2.76	3.96
LIMITE PLASTICO	%	18.01%	18.12%	18.43%

LIMITE LIQUIDO	22.84%
LIMITE PLASTICO	18.28%
INDICE DE PLASTICIDAD	4.56%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### LIMITE DE CONSISTENCIA

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON PROYECTO CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"

LUGAR: JULIACA  
 FECHA:  
 SOLICITAD BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
 CANTERA: TAPARACHI  
 % DE CAL: 8%

### LIMITE LIQUIDO

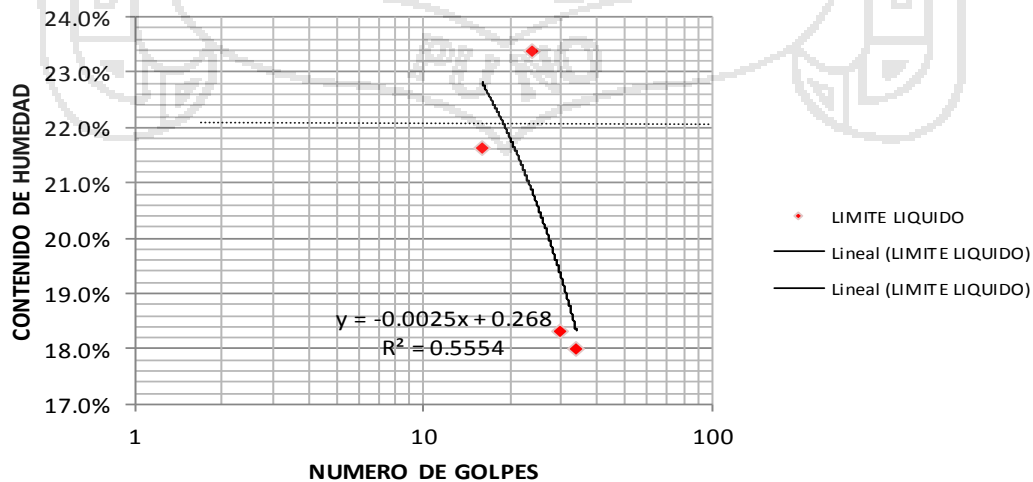
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	37.12	31.79	34.89	35.47
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.83	29.41	31.50	33.42
AGUA	gr.	3.29	2.38	3.39	2.05
PESO DE LA CAPSULA	gr.	18.61	16.41	17	22.02
PESO DEL SUELO SECO	gr.	15.22	13	14.5	11.40
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	21.62%	18.31%	23.38%	17.98%
NUMERO DE GOLPES	N	16	30	24	34

### LIMITE PLASTICO

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	22.85	23.97	18.03
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	22.30	23.25	17.63
AGUA	gr.	0.55	0.72	0.40
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.51	19.51	15.60
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2.79	3.74	2.03
LIMITE PLASTICO	%	19.71%	19.25%	19.70%

LIMITE LIQUIDO	<b>20.55%</b>
LIMITE PLASTICO	<b>19.56%</b>
INDICE DE PLASTICIDAD	<b>0.99%</b>

### CURVA DE FLUIDEZ







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**LIMITES DE CONSISTENCIA**

"GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON  
PROYECTO : CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN"  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 10%

LUGAR: JULIACA  
FECHA:

**LIMITE LIQUIDO**

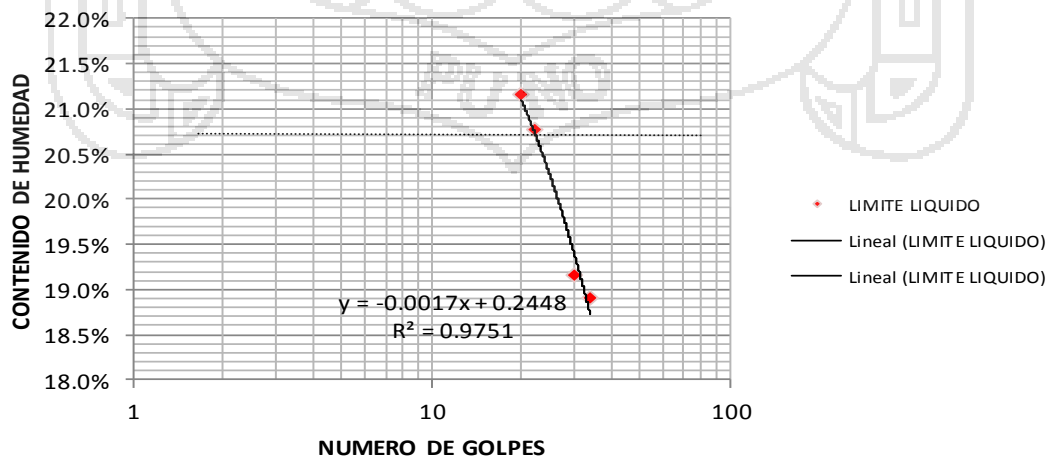
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	1	2	3	4
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	36.77	41.42	35.47	37.26
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.62	38	32.90	34.62
AGUA	gr.	3.15	3.42	2.57	2.64
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.95	21.83	19.48	21.91
PESO DEL SUELO SECO	gr.	16.67	16.17	13.42	12.71
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	18.90%	21.15%	19.15%	20.77%
NUMERO DE GOLPES	N	34	20	30	22

**LIMITE PLASTICO**

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	A-1	A-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.84	23.95	23.88
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	20.25	23.21	23.15
AGUA	gr.	0.59	0.74	0.73
PESO DE LA CAPSULA	gr.	17.32	19.52	19.58
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2.93	3.69	3.57
LIMITE PLASTICO	%	20.14%	20.05%	20.45%

LIMITE LIQUIDO	20.23%
LIMITE PLASTICO	20.21%
INDICE DE PLASTICIDAD	0.02%

**CURVA DE FLUIDEZ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**RELACION HUMEDAD- DENSIDAD PROCTOR (ASTM D-698)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA

SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:

CANtera: CHULLUNQUIANI

% DE CAL:

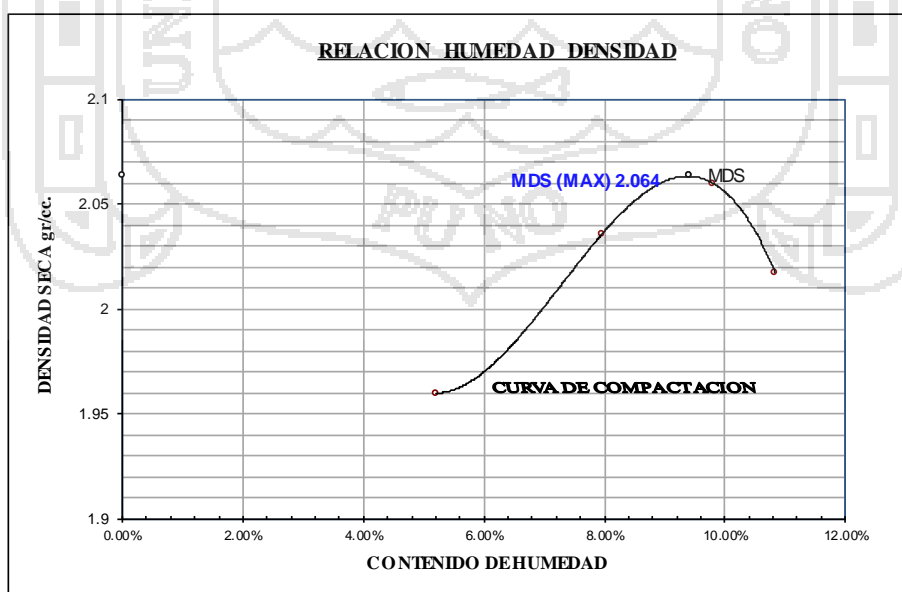
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2103.3 cc
No DE CAPAS	5		GOLPES POR CAPA

		4%	6%	8%	10%	12%
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10203	10488	10624	10569	10532
Peso del Molde	gr.	5867	5867	5867	5867	5867
Peso del Suelo Humedo	gr/cc.	4336	4621	4757	4702	4665
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.06	2.20	2.26	2.24	2.22

		4%	6%	8%	10%						
Capsula No	No	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10
Suelo Humedo + Capsula	gr.	55.63	52.71	61.40	52.07	85.76	84.29	55.80	67.54	61.39	73.04
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	53.72	50.97	58.10	49.52	80.09	78.64	52.18	63.00	56.98	67.51
Peso del Agua	gr.	1.91	1.74	3.30	2.55	5.67	5.65	3.62	4.54	4.41	5.53
Peso de la Capsula	gr.	17.62	16.84	16.08	17.83	21.48	21.68	17.86	22.20	21.08	21.68
Peso del Suelo Seco	gr.	36.10	34.13	42.02	31.69	58.61	56.96	34.32	40.80	35.90	45.83
% de Humedad	%	5.29%	5.10%	7.85%	8.05%	9.67%	9.92%	10.55%	11.13%	12.28%	12.07%
Promedio de Humedad	%	5.19%		7.95%		9.80%		10.84%		12.18%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.960		2.035		2.060		2.017		1.977	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA	2.064 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA	9.40%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUÍA BÁSICA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN" LUGAR: JULIACA  
 REALIZADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL:

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	15380	12775	12503
Peso del Molde	gr.	11060	8118	7763
Peso del Suelo Humedo	gr.	4320	4657	4740
Volumen del Suelo	cc.	2087.67	2097.05	2113.34
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.069	2.221	2.243

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	54.48	67.92	63.91	77.30	76.30	73.32
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	51.24	61.72	60.19	72.74	71.77	69.44
Peso del Agua	gr.	3.24	6.20	3.72	4.56	4.53	3.88
Peso de la Capsula	gr.	16.80	18.56	21.21	20.07	16.99	22.35
Peso del Suelo Seco	gr.	34.44	43.16	38.98	52.67	54.78	47.09
% de Humedad	%	9.47%	14.37%	9.54%	8.66%	8.27%	8.24%
Promedio de Humedad	%	11.89%		9.10%		8.25%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.849		2.035		2.072	

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
	01:20 p.m.	24 hrs	13.940	0	0.000	15.68	0	0	17.95	0	0
	12:50 p.m.	24 hrs	14.235	-0.295	-0.256	16.006	-0.326	-0.282	18.425	-0.475	-0.407
	12:30 p.m	25 hrs	14.300	-0.065	-0.056	16.04	-0.034	-0.029	18.49	-0.065	-0.056
	01:00 p.m	26 hrs	14.310	-0.01	-0.009	16.09	-0.05	-0.043	18.55	-0.06	-0.051
					-0.28%			-0.31%			-0.44%

**PENETRACION**

Penetración	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.63	00:30		0.69	70.336391	3.56		0.64	65.2396	3.30		1.36	138.6	7.01	
1.27	01:00		1.12	114.16922	5.77		1.10	112.13	5.67		2.24	228.3	11.54	
1.91	01:30		1.54	156.98267	7.94		1.68	171.254	8.66		3.18	324.2	16.39	
2.54	02:00	70.31	1.90	193.67992	9.79		2.22	226.3	11.44		4.07	414.9	20.97	
3.81	03:00		2.57	261.97757	13.24		3.41	347.604	17.57		5.65	575.9	29.11	
5.09	04:00	105.46	3.05	310.90724	15.72		4.43	451.58	22.83		7.11	724.8	36.64	
6.35	05:00		3.50	356.7788	18.03		5.32	542.304	27.41		8.43	859.3	43.44	
7.62	06:00		3.92	399.59225	20.20		6.12	623.853	31.53		9.81	1000	50.55	
8.94	07:00		4.34	442.40571	22.36		7.01	714.577	36.12		11.06	1127	56.99	

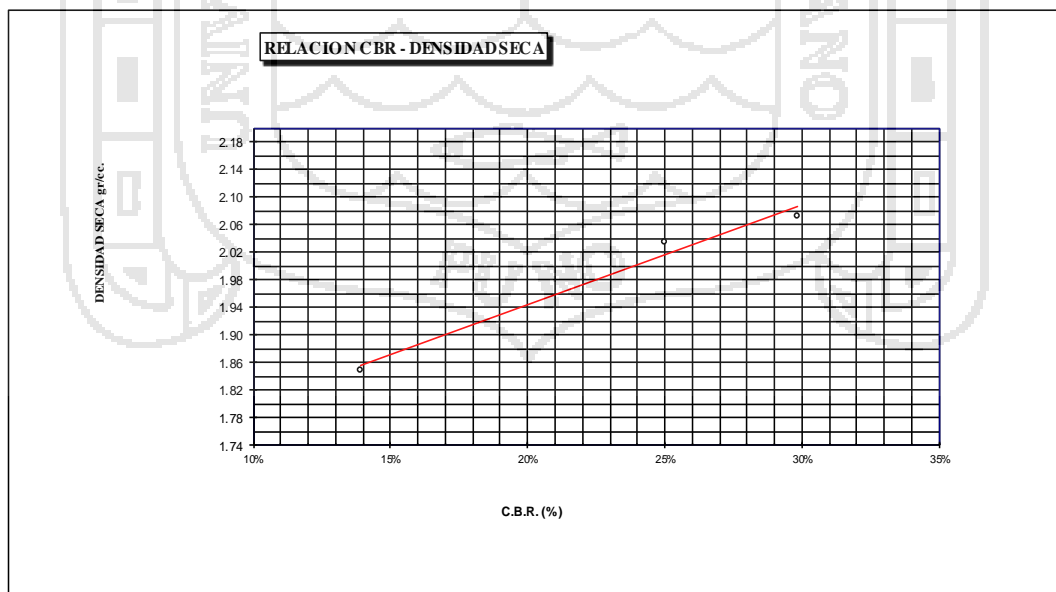
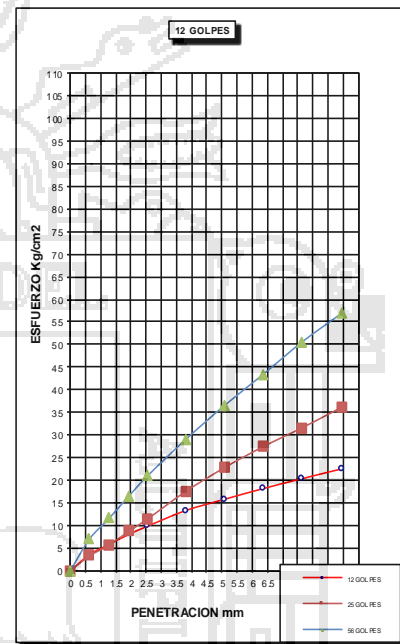
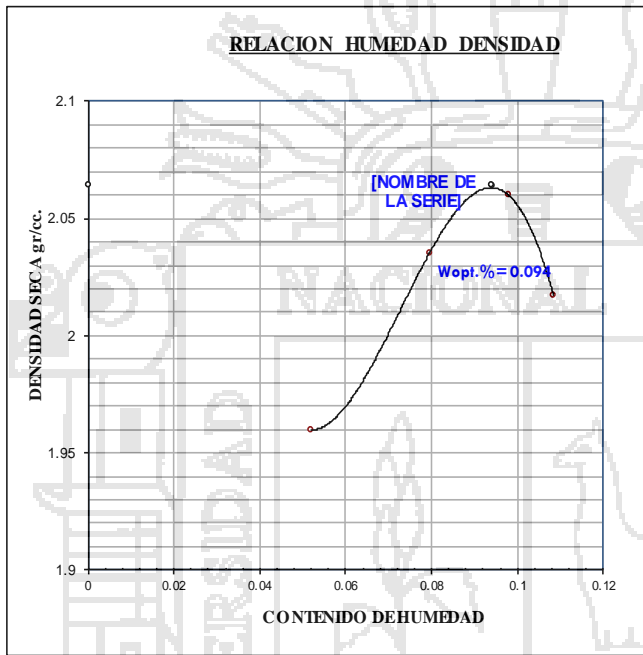


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE C.B.R (ASTM)

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL:





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 REALIZADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 2%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR SATURADO SIN SATURAR SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11340	12988	12852
Peso del Molde	gr.	6792	8020	7700
Peso del Suelo Humedo	gr.	4548	4968	5152
Volumen del Suelo	cc.	2092.95	2088.39	2105.70
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.173	2.379	2.447

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	66.19	55.38	65.12	73.04 79.78	78.26	74.93 84.08	90.27
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	62.65	51.62	62.62	69.45 75.91	74.18	70.70 79.35	84.17
Peso del Agua	gr.	3.54	3.76	2.50	3.59 3.87	4.08	4.23 4.73	6.10
Peso de la Capsula	gr.	22.01	16.96	19.15	22.12 15.79	17.32	16.82 22.22	21.50
Peso del Suelo Seco	gr.	40.64	34.66	43.47	47.33 60.12	56.86	53.88 57.13	62.67
% de Humedad	%	8.71%	10.85%	5.75%	7.59% 6.44%	7.18%	7.85% 8.28%	9.73%
Promedio de Humedad	%	9.78%		7.01%		8.07%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.979		2.223		2.264		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial		Expansion		Dial		Expansion		Dial		Expansion	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
	01:20 p.m.		16.82	0	0%	18.48	0	0%	11.97	0	0%			
	12:50 p.m.		17.04	0.22	0.19%	18.85	0.37	0.32%	12.05	0.08	0.07%			

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			KN	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		120	122.3246	6.18		150	152.9	7.73		195	198.8	10.05	
1.27	01:00		175	178.3894	9.02		2.15	219.2	11.08		2.30	234.5	11.85	
1.91	01:30		2.50	254.842	12.88		3.27	333.3	16.85		4.01	408.8	20.66	
2.54	02:00	70.31	4.37	445.46381	22.52		5.02	511.7	25.87		5.60	570.8	28.86	
3.81	03:00		5.62	572.88481	28.96		6.31	643.2	32.51		7.45	759.4	38.39	
5.09	04:00	105.46	7.20	733.94495	37.10		8.62	878.7	44.42		9.46	964.3	48.74	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 REALIZADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 4%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR SATURADO SIN SATURAR SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11915	11711	13065
Peso del Molde	gr.	7474	6788	7771
Peso del Suelo Humedo	gr.	4441	4923	5294
Volumen del Suelo	cc.	2114.05	2109.85	2090.81
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.101	2.333	2.532

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6			
Suelo Humedo + Capsula	gr.	58.50	84.19	75.11	72.33	68.35	59.42	73.00	64.05	69.49
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	55.49	79.50	70.24	67.74	63.54	54.84	68.71	59.96	65.70
Peso del Agua	gr.	3.01	4.69	4.87	4.59	4.81	4.58	4.29	4.09	3.79
Peso de la Capsula	gr.	17.62	20.08	18.56	17.24	16.83	16.46	16.32	17.87	21.08
Peso del Suelo Seco	gr.	37.87	59.42	51.68	50.50	46.71	38.38	52.39	42.09	44.62
% de Humedad	%	7.95%	7.89%	9.42%	9.09%	10.30%	11.93%	8.19%	9.72%	8.49%
Promedio de Humedad	%	7.92%			9.69%			8.95%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.947			2.127			2.324		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		13.36	0	0%	15.29	0	0%	17.61	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		13.63	0.27	0.23%	15.43	0.14	0.12%	17.78	0.17	0.15%

**PENETRACION**

Penetración	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.39	39.755352	2.01		0.86	87.666	4.43		2.23	227.3	11.49	
1.27	01:00		0.84	85.626911	4.33		2.28	232.42	11.75		5.29	539.2	27.26	
1.91	01:30		1.69	172.27319	8.71		4.28	436.29	22.05		7.40	754.3	38.13	
2.54	02:00	70.31	2.44	248.72579	12.57		6.70	682.98	34.52		8.73	889.9	44.98	
3.81	03:00		4.63	471.96738	23.86		10.58	1078.5	54.52		10.52	1072	54.21	
5.09	04:00	105.46	7.33	747.19674	37.77		10.20	1039.8	52.56		12.40	1264	63.89	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 REALIZADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 6%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11670	11676	12978
Peso del Molde	gr.	7072	6835	7877
Peso del Suelo Humedo	gr.	4598	4841	5101
Volumen del Suelo	cc.	2131.39	2105.70	2107.99
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.157	2.299	2.420

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	75.63	82.40	76.42	74.09	69.81	83.92
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	70.05	75.69	70.84	68.24	65.60	78.75
Peso del Agua	gr.	5.58	6.71	5.58	5.85	4.21	5.17
Peso de la Capsula	gr.	16.60	18.15	16.27	18.03	18.61	18.42
Peso del Suelo Seco	gr.	53.45	57.54	54.57	50.21	46.99	60.33
% de Humedad	%	10.44%	11.66%	10.23%	11.65%	8.96%	8.57%
Promedio de Humedad	%	11.05%		10.31%		8.61%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.943		2.084		2.228	

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial		Expansion		Dial		Expansion		
			mm	%	mm	%	mm	%			
26/03/2014	01:20 p.m.		13.76	0	0%	15.36	0	0%	17.7	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		13.94	0.18	0.15%	15.68	0.32	0.28%	17.95	0.25	0.22%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.63	00:30		0.46	46.890928	2.37		0.86	87.67	4.43		2.40	244.6	12.37	
1.27	01:00		2.15	219.16412	11.08		2.28	232.4	11.75		5.30	540.3	27.31	
1.91	01:30		3.03	308.8685	15.61		4.28	436.3	22.05		8.29	845.1	42.72	
2.54	02:00	70.31	3.76	383.28236	19.37		6.85	698.3	35.30		10.47	1067	53.95	
3.81	03:00		4.79	488.27727	24.68		10.58	1078	54.52		12.33	1257	63.53	
5.09	04:00	105.46	5.09	518.85831	26.23		13.25	1351	68.27		14.00	1427	72.14	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
 SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
 CANTERA: CHULLUNQUIANI  
 % DE CAL: 8%

<b>MOLDE No</b>	1	2	3
<b>No DE CAPAS</b>	5	5	5
<b>NUMERO DE GOLPES POR CAPA</b>	12	25	56
<b>CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	11670	11676	12978
<b>Peso del Molde</b>	gr.	7072	6835	7877
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	4598	4841	5101
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2131.39	2105.70	2107.99
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	2.157	2.299	2.420

<b>Capsula No</b>	No	1	2	3	4	5	6
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	75.63	82.40	76.42	74.09	69.81	83.92
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	70.05	75.69	70.84	68.24	65.60	78.75
<b>Peso del Agua</b>	gr.	5.58	6.71	5.58	5.85	4.21	5.17
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	16.60	18.15	16.27	18.03	18.61	18.42
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	53.45	57.54	54.57	50.21	46.99	60.33
<b>% de Humedad</b>	%	10.44%	11.66%	10.23%	11.65%	8.96%	8.57%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	11.05%			10.31%		8.61%
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.943			2.084		2.228

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		13.8	0	0%	15.39	0	0%	17.71	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		13.94	0.14	0.12%	15.68	0.29	0.25%	17.95	0.24	0.21%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.70	71355759	3.61		4.40	448.5	22.67		1.66	169.2	8.55	
1.27	01:00		3.18	324.15902	16.39		7.68	782.9	39.57		4.10	417.9	21.13	
1.91	01:30		4.53	4617737	23.34		9.50	968.4	48.95		8.36	852.2	43.08	
2.54	02:00	70.31	5.62	572.88481	28.96		10.90	1111	56.16		12.76	1301	65.75	
3.81	03:00		6.96	709.48012	35.86		13.01	1326	67.04		19.38	1976	99.86	
5.09	04:00	105.46	7.66	780.83588	39.47		14.61	1489	75.28		24.34	2481	125.42	
6.35	05:00		8.40	856.26911	43.28		16.21	1652	83.53		27.30	2783	140.67	
7.62	06:00		9.00	917.43119	46.37		17.49	1783	90.12		30.28	3087	156.03	
8.94	07:00		9.67	985.72885	49.83		19.39	1977	99.91		33.04	3368	170.25	





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: CHULLUNQUIANI  
% DE CAL: 10%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11373	11950	12398
Peso del Molde	gr.	7170	7698	7806
Peso del Suelo Humedo	gr.	4203	4252	4592
Volumen del Suelo	cc.	2122.85	2125.63	2130.25
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.980	2.000	2.156

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6			
Suelo Humedo + Capsula	gr.	6170	72.20	100.95	87.68	90.44	65.55	60.91	76.86	65.19
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	57.61	67.97	95.16	82.24	85.10	62.24	58.20	72.57	61.42
Peso del Agua	gr.	4.09	4.23	5.79	5.44	5.34	3.31	2.71	4.29	3.77
Peso de la Capsula	gr.	16.32	21.81	22.35	16.96	21.09	22.09	16.45	22.01	22.20
Peso del Suelo Seco	gr.	41.29	46.16	72.81	65.28	64.01	40.15	41.75	50.56	39.22
% de Humedad	%	9.91%	9.16%	7.95%	8.33%	8.34%	8.24%	6.49%	8.48%	9.61%
Promedio de Humedad	%	9.01%			8.31%			7.49%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.816			1.847			2.005		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		15.69	0	0%	14.45	0	0%	16.65	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		15.92	0.23	0.20%	14.69	0.24	0.21%	16.82	0.17	0.15%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		2.08	212.02854	10.72		3.89	396.5	20.04		6.74	687.1	34.73	
1.27	01:00		3.62	369.0121	18.65		6.54	666.7	33.70		11.28	1150	58.12	
1.91	01:30		4.72	481.1469	24.32		8.43	859.3	43.44		13.82	1409	71.21	
2.54	02:00	70.31	5.72	583.07849	29.47		9.79	998	50.45		16.03	1634	82.60	
3.81	03:00		6.73	686.03466	34.68		11.57	1179	59.62		19.21	1958	98.98	
5.09	04:00	105.46	7.68	782.87462	39.57		13.26	1352	68.33		22.18	2261	114.29	
6.35	05:00		8.35	851.17227	43.03		14.50	1478	74.71		24.55	2503	126.50	
7.62	06:00		8.98	915.39246	46.27		15.44	1574	79.56		26.76	2728	137.89	
8.94	07:00		9.51	969.41896	49.00		16.26	1657	83.78		28.88	2944	148.81	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 0%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR
	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11319	12775	12703
Peso del Molde	gr.	7283	8118	7763
Peso del Suelo Humedo	gr.	4036	4657	4940
Volumen del Suelo	cc.	2109.93	2123.80	2128.41
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.913	2.193	2.321

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	58.04	59.32	62.04	60.13	56.37	56.97
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	55.58	56.61	59.44	57.24	53.84	54.27
Peso del Agua	gr.	2.46	2.71	2.60	2.89	2.53	2.70
Peso de la Capsula	gr.	2199	15.29	2121	22.01	22.20	19.11
Peso del Suelo Seco	gr.	33.59	4132	38.23	35.23	3164	35.16
% de Humedad	%	7.32%	6.56%	6.80%	8.20%	8.00%	7.68%
Promedio de Humedad	%	6.89%		7.96%		7.01%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.789		2.031		2.169	

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial		Expansion		Dial		Expansion		
			mm	%	mm	%	mm	%			
	01:20 p.m.		16.22	0	0%	9.89	0	0%	2.39	0	0%
	12:50 p.m.		16.12	-0.1	-0.09%	9.64	-0.25	-0.22%	1.75	-0.64	-0.55%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.10	10.19368	0.52		0.56	57.08	2.89		0.26	26.5	134	
1.27	01:00		0.22	22.426096	1.13	0.00	0.76	77.47	3.92		1.27	129.5	6.54	0.00
1.91	01:30		0.31	31600408	1.60	0.63	0.93	94.8	4.79		2.71	276.2	13.96	0.63
2.54	02:00	70.31	0.38	38.735984	1.96	1.27	1.08	110.1	5.56	0.00	3.80	387.4	19.58	1.27
3.81	03:00		0.51	51987768	2.63	1.91	1.38	140.7	7.11	0.63	5.71	582.1	29.42	1.91
5.09	04:00	105.46	0.60	6116208	3.09	2.54	1.64	167.2	8.45	1.27	7.13	726.8	36.74	2.54
6.35	05:00		0.72	73.394495	3.71	3.81	1.90	193.7	9.79	1.91	8.52	868.5	43.90	3.81
7.62	06:00		0.82	83.588175	4.23	5.09	2.17	221.2	11.18	2.54	9.80	999	50.50	5.09
8.94	07:00		0.90	9174319	4.64	6.35	2.40	244.6	12.37	3.81	10.06	1025	51.84	6.35
						7.62			13.6	5.09				7.62
						8.94				6.35				8.94



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 2%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR
	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11214	11929	12566
Peso del Molde	gr.	7259	7740	8010
Peso del Suelo Humedo	gr.	3955	4189	4556
Volumen del Suelo	cc.	2104.40	2127.40	2107.08
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.879	1.969	2.162

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6			
Suelo Humedo + Capsula	gr.	57.16	56.16	61.94	54.44	48.17	63.85	57.15	63.70	62.09
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	55.07	54.21	58.93	52.10	46.25	60.92	54.30	60.04	57.96
Peso del Agua	gr.	2.09	1.95	3.01	2.34	1.92	2.93	2.85	3.66	4.13
Peso de la Capsula	gr.	19.52	19.57	19.51	18.69	16.93	18.17	16.26	16.60	16.41
Peso del Suelo Seco	gr.	35.55	34.64	39.42	33.41	29.32	42.75	38.04	43.44	41.55
% de Humedad	%	5.88%	5.63%	7.64%	7.00%	6.55%	6.85%	7.49%	8.43%	9.94%
Promedio de Humedad	%	6.38%			6.80%			7.49%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.767			1.844			2.012		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		3.22	0	0%	8.495	0	0%	13.8	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		3.69	0.47	0.41%	8.7	0.205	0.18%	13.91	0.11	0.09%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			KN	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.71	72.375	127	3.66	2.22	226.3	1144	6.95	708.5	35.81		
1.27	01:00		1.27	129.459	73	6.54	3.39	345.6	17.47	9.89	1008	50.96		
1.91	01:30		1.96	199.796	13	10.10	3.89	396.5	20.04	11.44	1166	58.95		
2.54	02:00	70.31	2.26	230.377	17	11.65	4.24	432.2	21.85	12.90	1315	66.47		
3.81	03:00		2.77	282.364	93	14.27	4.76	485.2	24.53	16.27	1659	83.84		
5.09	04:00	105.46	3.07	312.945	97	16.82	5.29	539.2	27.26	19.49	1987	100.43		
6.35	05:00		3.34	340.468	91	17.21	5.80	591.2	29.89	21.77	2219	112.18		
7.62	06:00		3.58	364.933	74	18.45	6.22	634	32.05	24.19	2466	124.64		
8.94	07:00		3.85	392.456	68	19.84	6.69	682	34.47	26.21	2672	135.05		



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 4%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR SATURADO SIN SATURAR SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11575	11097	11879
Peso del Molde	gr.	7770	6788	7174
Peso del Suelo Humedo	gr.	3805	4309	4705
Volumen del Suelo	cc.	2123.74	2128.36	2122.85
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.792	2.025	2.216

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6			
Suelo Humedo + Capsula	gr.	63.25	58.48	54.69	77.33	67.29	71.06	67.54	65.46	72.20
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	60.40	55.96	52.02	73.35	64.49	68.04	64.30	61.92	68.36
Peso del Agua	gr.	2.85	2.52	2.67	3.98	2.80	3.02	3.24	3.54	3.84
Peso de la Capsula	gr.	18.71	16.64	17.78	19.14	21.77	22.21	20.20	18.11	17.80
Peso del Suelo Seco	gr.	41.69	40.32	34.24	54.21	42.72	45.83	44.10	43.81	50.56
% de Humedad	%	6.84%	6.25%	7.80%	7.34%	6.55%	6.59%	7.35%	8.08%	7.59%
Promedio de Humedad	%	6.96%			6.83%			7.67%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.675			1.895			2.058		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		18.84	0	0%	6.39	0	0%	3.40	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		18.92	0.08	0.07%	6.41	0.02	0.02%	3.45	0.05	0.04%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.25	25.4842	1.29		3.06	31.193	1.77		7.35	749.24	37.87	
1.27	01:00		0.68	69.37023	3.50		5.04	513.76	25.97		10.75	1095.8	55.39	
1.91	01:30		0.94	95.820591	4.84		6.52	664.63	33.60		12.99	1324.2	66.93	
2.54	02:00	70.31	1.12	114.16922	5.77		8.10	825.69	41.74		15.84	1614.7	81.62	
3.81	03:00		1.42	144.75025	7.32		10.33	1053	53.23		18.56	1891.9	95.63	
5.09	04:00	105.46	1.71	174.31193	8.81		11.87	1210	61.16		21.33	2174.3	109.91	
6.35	05:00		1.80	183.48624	9.27		12.77	1301.7	65.80		24.02	2448.5	123.77	
7.62	06:00		2.22	226.29969	11.44		13.74	1400.6	70.80		26.12	2662.6	134.59	
8.94	07:00		2.40	244.64832	12.37		14.58	1486.2	75.13		28.39	2894	146.29	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 6%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11496	12132	11503
Peso del Molde	gr.	7628	7888	6926
Peso del Suelo Humedo	gr.	3868	4244	4577
Volumen del Suelo	cc.	2094.42	2139.45	2088.94
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.847	1.984	2.191

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	68.40	67.62	68.53	59.58	50.34	75.44
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	65.77	65.56	65.29	57.24	48.55	72.51
Peso del Agua	gr.	2.63	2.06	3.24	2.34	1.79	2.93
Peso de la Capsula	gr.	22.36	2182	17.86	16.95	16.46	22.09
Peso del Suelo Seco	gr.	43.41	43.74	47.43	40.29	32.09	50.42
% de Humedad	%	6.06%	4.7%	6.83%	5.8%	5.58%	5.8%
Promedio de Humedad	%	5.87%		5.73%		6.86%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.744		1.876		2.050	

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		10.53	0	0%	18.91	0	0%	9.33	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		10.75	0.22	0.19%	18.99	0.08	0.07%	9.71	0.38	0.33%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		0.64	65.239551	3.30		2.50	254.8	12.88		10.32	1052	53.18	
1.27	01:00		1.10	112.13048	5.67		3.60	367	18.55		14.64	1492	75.44	
1.91	01:30		1.39	141.69215	7.16		4.52	460.8	23.29		17.68	1802	91.10	
2.54	02:00	70.31	1.67	170.23445	8.61		5.28	538.2	27.21		20.22	2061	104.19	
3.81	03:00		2.04	207.95107	10.51		6.46	658.5	33.29		23.88	2434	123.05	
5.09	04:00	105.46	2.35	239.55148	12.11		7.59	773.7	39.11		26.77	2729	137.94	
6.35	05:00		2.60	265.03568	13.40		8.57	873.6	44.16		29.18	2975	150.36	
7.62	06:00		2.74	279.30683	14.12		9.51	969.4	49.00		30.76	3136	158.50	
8.94	07:00		2.90	295.61672	14.94		10.42	1062	53.69		32.33	3296	166.59	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM D-1883)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 8%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR SATURADO SIN SATURAR SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10833	11029	12639
Peso del Molde	gr.	6790	6834	7876
Peso del Suelo Humedo	gr.	4043	4195	4763
Volumen del Suelo	cc.	2089.73	2096.18	2101.63
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.935	2.001	2.266

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6			
Suelo Humedo + Capsula	gr.	59.12	52.85	65.11	57.10	60.84	51.96	55.97	58.19	59.81
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	55.06	48.91	61.03	53.32	57.04	48.88	52.04	53.75	55.55
Peso del Agua	gr.	4.06	3.94	4.08	3.78	3.80	3.08	3.93	4.44	4.26
Peso de la Capsula	gr.	13.75	12.53	13.07	13.19	13.26	13.51	12.97	13.48	13.81
Peso del Suelo Seco	gr.	41.31	36.38	47.96	40.13	43.78	35.37	39.07	40.27	41.74
% de Humedad	%	9.83%	10.83%	8.51%	9.42%	8.68%	8.71%	10.06%	11.03%	10.21%
Promedio de Humedad	%	9.72%			8.94%			10.43%		
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.763			1.837			2.052		

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/03/2014	01:20 p.m.		5.77	0	0%	5.67	0	0%	5.15	0	0%
27/03/2014	12:50 p.m.		5.98	0.21	0.18%	5.89	0.22	0.19%	5.39	0.24	0.21%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		191	194.69929	9.84		4.90	499.5	25.25		7.91	806.32	40.76	
1.27	01:00		3.36	342.50765	17.31		6.61	673.8	34.06		13.36	1361.9	68.84	
1.91	01:30		4.05	412.84404	20.87		8.00	815.5	41.22		17.32	1765.5	89.25	
2.54	02:00	70.31	4.62	470.94801	23.81		9.27	945	47.77		20.88	2128.4	107.59	
3.81	03:00		5.42	552.49745	27.93		11.25	1147	57.97		26.29	2679.9	135.47	
5.09	04:00	105.46	6.10	6218.1448	31.43		12.88	1313	66.37		30.70	3129.5	158.19	
6.35	05:00		6.68	680.93782	34.42		14.25	1453	73.43		33.75	3440.4	173.91	
7.62	06:00		7.23	737.00306	37.25		15.62	1592	80.49		36.92	3763.5	190.24	
8.94	07:00		7.77	792.04893	40.04		16.84	1717	86.77		38.22	3896	196.94	



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE C.B.R (ASTM)**

PROYECTO : "GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN" LUGAR: JULIACA  
SOLICITADO: BACH. EDWIN EVER PALLI APAZA FECHA:  
CANTERA: TAPARACHI  
% DE CAL: 10%

MOLDE No	1	2	3
No DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11389	10817	12127
Peso del Molde	gr.	7627	6834	7834
Peso del Suelo Humedo	gr.	3762	3983	4293
Volumen del Suelo	cc.	2094.42	2139.45	2088.94
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.796	1.862	2.055

Capsula No	No	1	2	3	4	5	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	50.89	58.27	72.22	63.95	64.70	59.28
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	48.42	55.48	68.97	60.70	61.12	56.43
Peso del Agua	gr.	2.47	2.79	3.25	3.25	3.58	2.85
Peso de la Capsula	gr.	13.85	13.05	13.90	10.89	13.22	13.44
Peso del Suelo Seco	gr.	34.57	42.43	55.07	49.81	47.90	42.99
% de Humedad	%	7.14%	6.58%	5.90%	6.52%	7.47%	6.63%
Promedio de Humedad	%	6.86%		7.00%		5.51%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.681		1.740		1.948	

**EXPANSION**

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/06/2015	01:20 p.m.		14.82	0	0%	14.57	0	0%	14.95	0	0%
06/07/2015	12:50 p.m.		15.22	0.4	0.35%	14.9	0.33	0.28%	15.19	0.24	0.21%

**PENETRACION**

Penetración n	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No 1				MOLDE No 2				MOLDE No 3			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0	00:00		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.63	00:30		101	102.95617	5.20		184	187.6	9.48		8.37	853.2	43.13	
1.27	01:00		150	152.9052	7.73		4.28	436.3	22.05		14.08	1435	72.55	
1.91	01:30		183	186.54434	9.43		5.90	6014	30.40		17.18	1751	88.52	
2.54	02:00	70.31	2.04	207.95107	10.51		6.91	704.4	35.61		19.18	1955	98.83	
3.81	03:00		2.52	256.88073	12.98		8.48	864.4	43.70		22.37	2280	115.27	
5.09	04:00	105.46	2.90	295.61672	14.94		9.56	974.5	49.26		24.78	2526	127.69	
6.35	05:00		3.24	330.27523	16.69		10.54	1074	54.31		26.88	2740	138.51	
7.62	06:00		3.59	365.95311	18.50		11.40	1162	58.74		29.16	2972	150.25	
8.94	07:00		3.91	398.57288	20.15		12.30	1254	63.38		31.19	3179	160.71	

## 7.6. GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL

**UNAP**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERIA CIVIL

**GUIA BASICA PARA ESTABILIZACION  
DE SUELOS CON CAL EN CAMINOS DE  
BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN LA  
PROVINCIA DE SAN ROMAN**