

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



**TESIS**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE  
POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA  
CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**QUISPE SUPO FREDDY**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO-PERÚ**

**2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE  
POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA  
CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS

PRESENTADO POR EL BACHILLER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CIVIL FREDDY QUISPE SUPO, 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. JAIME MEDINA LEIVA

PRIMER MIEMBRO

ING. NICOLÁS LUZA FLORES

SEGUNDO MIEMBRO

ING. JOSÉ LUÍS CUTIPA ARAPA

DIRECTOR

ING. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

ASESOR

ING. TANIA ZAPATA COACALLA

TEMA: DISEÑO DE PAVIMENTOS

ÁREA: TRANSPORTES

DEDICATORIA

## FREDDY QUISPE SUPO

A mis padres; Antonia Supo Gonzales y Martín Quispe Miranda.  
Con mucho amor y cariño quienes con paciencia, sacrificio y motivación constante me apoyaron en mi formación profesional y  
Hermanos; Gilbert y Gladys por regalarme la alegría del mundo, su comprensión apoyo incondicional y por ser el motor del esfuerzo y sacrificio para seguir adelante.

A mis tíos Benito y Emilio por su apoyo y comprensión en inculcarme siempre lo bueno.



### AGRADECIMIENTO

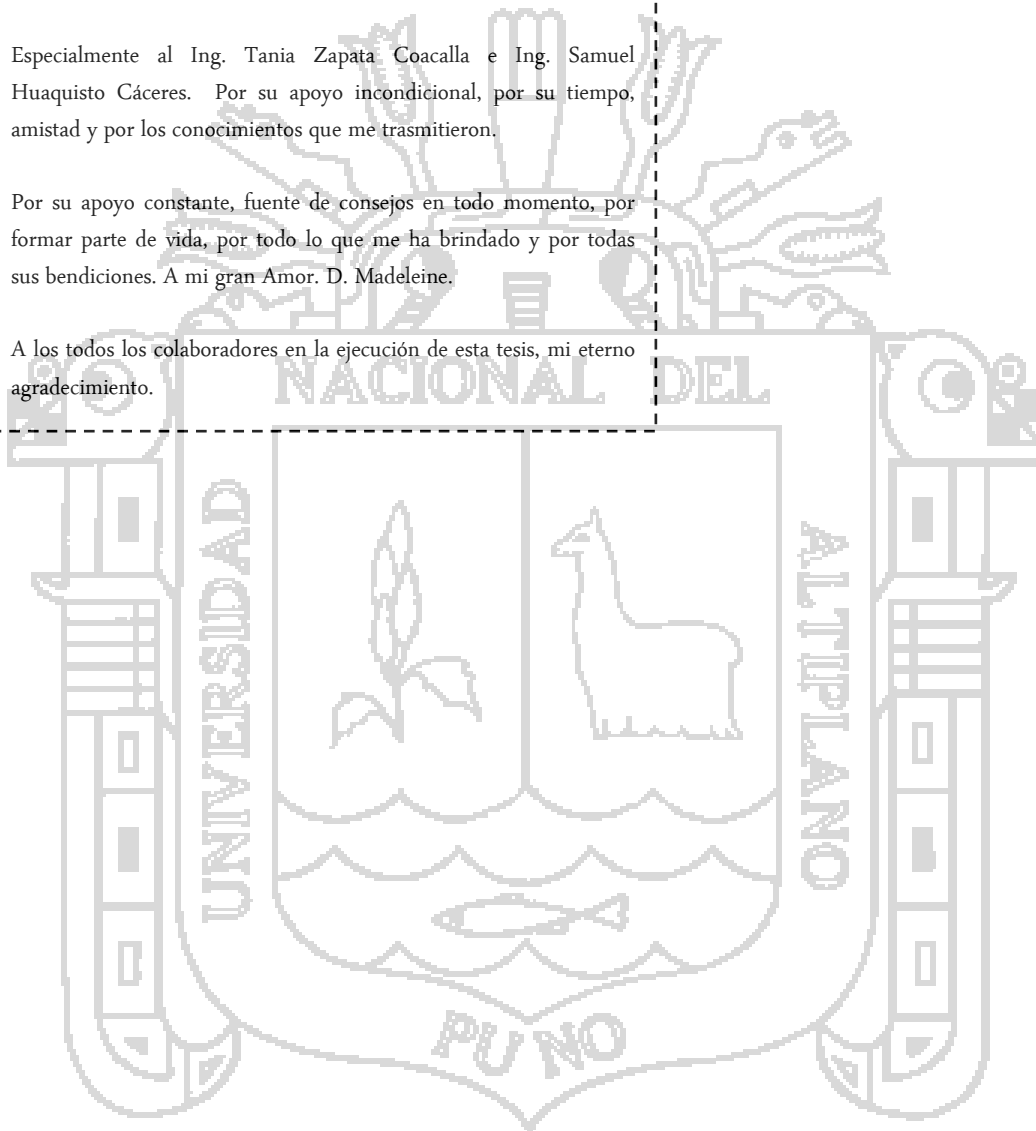
A Dios nuestro señor, por ser mi guía y compañía en cada momento a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por alentar nuestro interés en la ingeniería.

Especialmente al Ing. Tania Zapata Coacalla e Ing. Samuel Huaquisto Cáceres. Por su apoyo incondicional, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitieron.

Por su apoyo constante, fuente de consejos en todo momento, por formar parte de vida, por todo lo que me ha brindado y por todas sus bendiciones. A mi gran Amor. D. Madeleine.

A los todos los colaboradores en la ejecución de esta tesis, mi eterno agradecimiento.



## ÍNDICE GENERAL

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>   | <b>27</b> |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....  | 27        |
| 1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....   | 30        |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....   | 31        |
| 1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 31        |
| 1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....  | 32        |
| 1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....   | 32        |
| 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 32        |
| <b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>33</b> |
| 2.1. SUSTENTO TEÓRICO .....  | 33        |
| 2.1.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....  | 33        |
| 2.1.2. ....  | 34        |
| 2.1.3. FALLAS DE PAVIMENTOS .....  | 34        |
| 2.1.4. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES .....  | 35        |
| 2.1.5. CALIDADES DE AGREGADOS.....   | 35        |
| 2.1.6. BASE GRANULAR .....   | 36        |
| 2.1.6.1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....  | 36        |
| 2.1.7. SUB BASE GRANULAR .....   | 38        |
| 2.1.7.1. FUNCIONES DE LA SUB BASE GRANULAR .....   | 38        |
| 2.1.7.2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....  | 38        |
| 2.1.7.3. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES EMPLEADOS EN LA<br>CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. .... | 40        |
| 2.1.8. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS DE SUELOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA BASE Y SUB<br>BASE. 41          |           |
| 2.1.8.1. MUESTREO Y EXPLORACIÓN DE SUELOS .....  | 41        |
| 2.1.8.1.1. ESTUDIO Y UBICACIÓN DE CANTERAS .....   | 43        |
| 2.1.8.2. ENSAYOS DE LABORATORIO .....  | 44        |
| 2.1.8.2.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN LABORATORIO.....   | 44        |
| 2.1.8.2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.....   | 47        |
| 2.1.8.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....   | 49        |
| 2.1.8.2.4. LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA.....   | 51        |
| 2.1.8.2.4.1. LÍMITE LÍQUIDO.....   | 52        |
| 2.1.8.2.4.2. LÍMITE PLÁSTICO .....   | 54        |
| 2.1.8.2.4.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP).....   | 56        |
| 2.1.8.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....   | 56        |
| 2.1.8.2.5.1. GENERALIDADES .....   | 56        |
| 2.1.8.2.5.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO.....  | 57        |
| 2.1.8.2.5.3. SISTEMA UNIFICADA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) .....                                   | 60        |
| 2.1.8.2.6. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) .....   | 68        |
| 2.1.8.2.7. ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES .....   | 82        |
| 2.1.9. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....   | 85        |
| 2.1.9.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES.....   | 85        |
| G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo.....                                       | 62        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 2.1.9.2.    | TIPOS Y USOS DE ESTABILIZACIONES .....  | 97         |
| 2.1.10.     | POLÍMEROS.....  | 98         |
|             | CÓDIGO.....   | 99         |
| 2.1.10.1.   | POLICLORURO DE VINILO (PVC).....  | 99         |
| 2.1.10.2.   | APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC).....  | 100        |
| 2.1.10.3.   | DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) .....  | 101        |
| 2.1.10.4.   | MANEJO DEL DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) .....   | 104        |
|             | El manejo del desecho se puede realizar:.....   | 104        |
| 2.1.11.     | EVALUACIÓN ECONÓMICA DE USO Y DISPONIBILIDAD DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO EN PROYECTOS CARRETEROS EN LA PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO ..... | 104        |
| 2.1.11.1.   | DISPONIBILIDAD DE DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO EN PROYECTOS CARRETEROS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.....   | 104        |
| 2.1.11.1.1. | GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS.....   | 105        |
| 2.1.11.2.   | GENERALIDADES SOBRE EL PVC.....   | 107        |
| 2.1.11.3.   | DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN PER CÁPITA (GPC) DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (DESECHOS DE PVC) .....   | 108        |
| 2.1.11.3.1. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS.....   | 108        |
| 2.1.11.3.2. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COMERCIOS.....  | 110        |
| 2.1.11.3.3. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN RESTAURANTES .....  | 112        |
| 2.1.11.3.4. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN HOSPEDAJES .....  | 112        |
| 2.1.11.3.5. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MERCADOS.....   | 112        |
| 2.1.11.3.6. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS .....  | 113        |
| 2.1.11.3.7. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES.....  | 113        |
| 2.1.11.3.8. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL BARRIDO DE CALLES.....   | 113        |
| 2.1.11.4.   | GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS EN EL DISTRITO DE PUNO .....   | 114        |
| 2.1.11.5.   | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN EL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA PROVINCIA DE PUNO.....                             | 114        |
| 2.1.11.5.1. | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y NO MUNICIPALES .....   | 114        |
| 2.1.11.5.2. | GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE PUNO   | 115        |
| 2.1.12.     | COMERCIALIZACIÓN DE DESECHOS (RESIDUOS) DE PVC EN LA PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO .....   | 118        |
| 2.2.        | HIPÓTESIS .....   | 127        |
| 2.3.        | SISTEMA DE VARIABLES .....  | 127        |
| <b>3.</b>   | <b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>  | <b>128</b> |
| 3.1.        | TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....  | 128        |
| 3.1.1.      | TIPO.....   | 128        |
| 3.1.2.      | DISEÑO.....   | 128        |
| 3.2.        | POBLACIÓN Y MUESTRA .....   | 128        |
| 3.3.        | MATERIALES .....  | 128        |
| 3.3.1.      | DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC).....  | 128        |
| 3.3.1.1.    | ASPECTOS SOBRE LA APLICACIÓN DEL DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO.....  | 132        |
| 3.3.2.      | MATERIAL DE CANTERA.....  | 133        |
| 3.4.        | MÉTODO .....  | 139        |
| 3.4.1.      | TRABAJOS DE CAMPO.....  | 139        |
| 3.4.2.      | ENSAYOS DE LABORATORIO .....  | 144        |
| 3.5.        | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE COLECTA DE DATOS.....  | 177        |

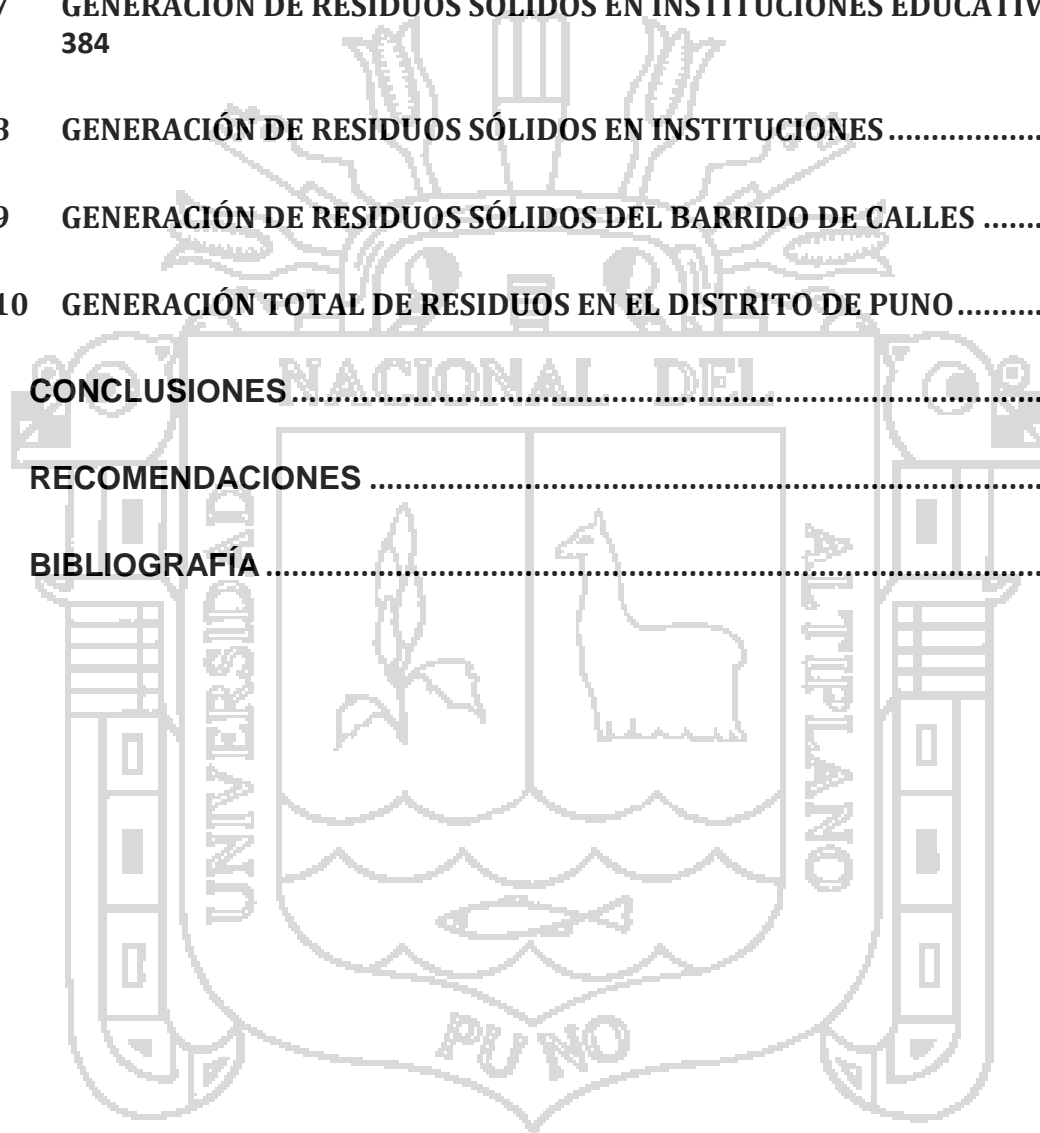
|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.5.1.     | TÉCNICA.....  | 177        |
| 3.5.2.     | INSTRUMENTO .....   | 177        |
| 3.5.3.     | EQUIPOS.....  | 177        |
| 3.6.       | ÁMBITO DE ESTUDIO .....   | 177        |
| <b>4.</b>  | <b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>   | <b>178</b> |
| 4.1.       | CONDICIONES INICIALES DE LAS CANTERAS .....   | 178        |
| 4.1.1.     | RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS .....  | 178        |
| 4.1.1.1.   | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....  | 178        |
| 4.1.1.2.   | LÍMITES DE CONSISTENCIA .....   | 179        |
| 4.1.1.3.   | ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....  | 180        |
| 4.1.1.4.   | PROCTOR MODIFICADO.....   | 181        |
| 4.1.1.5.   | VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) .....   | 182        |
| 4.1.2.     | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....  | 182        |
| 4.1.2.1.   | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....  | 182        |
| 4.1.2.2.   | LÍMITES DE CONSISTENCIA .....   | 185        |
| 4.1.2.3.   | ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....  | 186        |
| 4.1.2.4.   | PROCTOR MODIFICADO.....   | 187        |
| 4.1.2.5.   | VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR) .....   | 188        |
| 4.2.       | ESTABILIZACIÓN DE LAS CANTERAS CON DESECHOS DE<br>POLICLORURO DE VINILO.....  | 189        |
| 4.2.1.     | ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....  | 189        |
| 4.2.1.1.   | RESULTADOS.....   | 189        |
| 4.2.1.2.   | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....  | 199        |
| 4.2.2.     | ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO .....  | 199        |
| 4.2.2.1.   | RESULTADOS – CANTERA SALCEDO .....  | 199        |
| 4.2.2.1.1. | MÁXIMA DENSIDAD SECA.....   | 200        |
| 4.2.2.1.2. | CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO .....   | 200        |
| 4.2.2.2.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS-CANTERA SALCEDO .....  | 203        |
| 4.2.2.3.   | RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA.....  | 205        |
| 4.2.2.3.1. | MÁXIMA DENSIDAD SECA.....   | 205        |
| 4.2.2.3.2. | CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO .....   | 206        |
| 4.2.2.4.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS - CANTERA JALLIHUAYA.....  | 206        |
| 4.2.2.5.   | RESULTADOS DE LA CANTERA-CUNTUR WASI .....  | 208        |
| 4.2.2.6.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS CANTERA - CUNTUR WASI.....   | 209        |
| 4.2.3.     | ENSAYO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR).....  | 210        |
| 4.2.3.1.   | RESULTADOS DE LA CANTERA SALCEDO .....  | 210        |
| 4.2.3.2.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA CANTERA-SALCEDO .....  | 212        |
| 4.2.3.3.   | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CANTERA SALCEDO CON ADICIÓN DE DESECHO<br>DE POLICLORURO DE VINILO RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" Y PASANTE LA MALLA N° ¾" VS PVC<br>RETENIDO EN LA MALLA N° 10 Y PASANTE LA MALLA N°4. .... | 216        |
| 4.2.3.4.   | RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA .....   | 219        |
| 4.2.3.5.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA.....  | 219        |
| 4.2.3.6.   | RESULTADOS DE LA CANTERA CURTUR WASI.....   | 222        |
| 4.2.3.7.   | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS-CANTERA CUNTUR WASI .....  | 222        |
| 4.3.       | CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LAS NORMAS .....  | 225        |
| 4.3.1.     | CONTRASTACIÓN CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA EG-2013 PARA LA CAPA BASE DE UN<br>PAVIMENTO .....   | 225        |
| 4.3.2.     | CONTRASTACIÓN CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA EG-2013 PARA LA CAPA SUB BASE DE<br>UN PAVIMENTO .....   | 227        |
| 4.3.3.     | GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE CANTERA RELACIONADO CON LA GRANULOMETRÍA DEL<br>MATERIAL DE CANTERA MÁS LA ADICIÓN DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO. ....  | 229        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 4.4.        | TRATAMIENTO DE DATOS Y DISEÑO ESTADÍSTICO .....                 | 231        |
| 4.4.1.      | CORRELACIÓN: .....  | 232        |
| 4.4.1.1.    | SIGNIFICANCIA DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN .....              | 235        |
| 4.4.1.2.    | HIPÓTESIS ESTADÍSTICA .....                                     | 236        |
| 4.4.2.      | PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CORRELACIÓN .....                   | 236        |
| 4.4.3.      | CORRELACIONES PARA LA CANTERA SALCEDO .....                     | 237        |
| 4.4.4.      | CORRELACIONES PARA LA CANTERA JALLIHUAYA.....                   | 239        |
| 4.4.5.      | PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CANTERA SALCEDO .....               | 242        |
| 4.4.5.1.    | VARIABLE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....   | 242        |
| 4.4.5.2.    | VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE .....                        | 244        |
| 4.4.5.2.1.  | VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 25 GOLPES DE COMPACTACIÓN ..... | 244        |
| 4.4.5.2.2.  | VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN ..... | 246        |
| 4.4.6.      | PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CANTERA JALLIHUAYA.....             | 249        |
| 4.4.6.1.    | VARIABLE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....   | 249        |
| 4.4.6.2.    | VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE .....                        | 251        |
| 4.4.6.2.1.  | VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 25 GOLPES DE COMPACTACIÓN ..... | 251        |
| 4.4.6.2.2.  | VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN ..... | 253        |
| <b>5.</b>   | <b>CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....</b>                          | <b>256</b> |
| <b>5.1.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                       | <b>256</b> |
| <b>5.2.</b> | <b>SUGERENCIAS.....</b>   | <b>257</b> |
| 5.3.        | GLOSARIO DE TÉRMINOS .....                                      | 258        |
| 5.4.        | BIBLIOGRAFIA.....   | 260        |
| <b>6.</b>   | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>265</b> |
| 6.1.        | ANEXOS I.....   | 265        |
| 6.2.        | ANEXO II .....  | 269        |
| 6.3.        | ANEXOS III.....   | 271        |
| 6.4.        | ANEXO IV .....  | 329        |
| 6.5.        | ANEXO V .....   | 337        |
| 6.6.        | ANEXO VI.....   | 339        |
| 6.7.        | ANEXO VII.....  | 339        |
| <b>1.</b>   | <b>ANTECEDENTES .....</b>                                       | <b>343</b> |
| <b>2.</b>   | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>344</b> |
| <b>3.</b>   | <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>344</b> |
| 3.1         | Objetivo general .....  | 344        |



|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 3.2       | Objetivos específicos .....                                    | 344        |
| <b>4.</b> | <b>ACTIVIDADES REALIZADAS.....</b>                             | <b>344</b> |
| 4.1       | <b>ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO .....</b>                | <b>344</b> |
| 4.2       | <b>COORDINACIONES GENERALES .....</b>                          | <b>345</b> |
| 4.3       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS.....</b>          | <b>345</b> |
| 4.4       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS COMERCIALES .....</b>           | <b>352</b> |
| 4.5       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MERCADOS.....</b>            | <b>353</b> |
| 4.6       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS</b> | <b>354</b> |
| 4.7       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE INSTITUCIONES .....</b>      | <b>355</b> |
| 4.8       | <b>CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE BARRIDO DE CALLES.....</b>   | <b>355</b> |
| 4.9       | <b>PROGRAMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE .....</b>                  | <b>355</b> |
| 4.10      | <b>LOGÍSTICA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO .....</b>               | <b>355</b> |
| <b>5.</b> | <b>INFORMACIÓN BÁSICA DEL AREA DE ESTUDIO .....</b>            | <b>356</b> |
| 5.1       | <b>ASPECTOS DEL ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>                    | <b>356</b> |
| 5.2       | <b>ASPECTOS AMBIENTALES.....</b>                               | <b>357</b> |
|           | I.....   | 358        |
| 5.3       | <b>ASPECTO DEMOGRÁFICO.....</b>                                | <b>359</b> |
| 5.4       | <b>ACTIVIDADES SOCIO ECONÓMICAS.....</b>                       | <b>359</b> |
| 5.5       | <b>INDICADORES DE SALUD .....</b>                              | <b>360</b> |
| <b>6.</b> | <b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>                               | <b>361</b> |
| 6.1       | <b>ENCUESTAS A LA POBLACIÓN.....</b>                           | <b>361</b> |
| 6.2       | <b>GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS .....</b>      | <b>377</b> |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.3  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COMERCIOS .....                 | 380 |
| 6.4  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN RESTAURANTES .....              | 383 |
| 6.5  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN HOSPEDAJES .....                | 383 |
| 6.6  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MERCADOS .....                  | 383 |
| 6.7  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS<br>384 |     |
| 6.8  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES .....             | 384 |
| 6.9  | GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL BARRIDO DE CALLES .....        | 384 |
| 6.10 | GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS EN EL DISTRITO DE PUNO .....         | 384 |
| 7.   | CONCLUSIONES .....  | 385 |
| 8.   | RECOMENDACIONES .....   | 385 |
| 9.   | BIBLIOGRAFÍA .....  | 386 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 1: Situación de la red vial nacional.....  | 27  |
| FIGURA 2: Competencias en infraestructura vial. ....  | 28  |
| FIGURA 3: Estructura de un pavimento flexible.....  | 33  |
| FIGURA 4: Estructura de un pavimento rígido.....  | 33  |
| FIGURA 5: Fases de una muestra de suelo.....  | 47  |
| FIGURA 6: Estados del suelo susceptible a ser plástico.....   | 52  |
| FIGURA 7: Curva de compactación. ....   | 68  |
| FIGURA 8: Definición de curva de Diseño. ....   | 72  |
| FIGURA 9: Ensayo de Valor Relativo de Soporte para amplio rango de contenidos de agua.....                                  | 74  |
| FIGURA 10: Determinación del CBR para un rango de humedades y masa unitaria seca mínima.....                                | 75  |
| FIGURA 11: Experimento factorial en un suelo compactado.....  | 76  |
| FIGURA 12: Mapa de resistencias para suelo limpio .....   | 77  |
| FIGURA 13: Mapa de resistencias para suelo puramente cohesivo .....   | 77  |
| FIGURA 14: Región de aceptación para suelo mixto .....  | 78  |
| FIGURA 15: Comparación entre variantes del CBR ASTM D 1883. ....  | 79  |
| FIGURA 16: Evolución del CBR para la mezcla del material natural y material con adición de PVC.....                         | 88  |
| FIGURA 17: Evolución del Peso Unitario para la mezcla del material natural y material con adición de PVC.....               | 89  |
| FIGURA 18: Porcentajes óptimos de humedad con adición de NaCl.....  | 90  |
| FIGURA 19: Gráfica de resistencia (CBR) con respecto a la adición de NaCl.....  | 91  |
| FIGURA 20: Evolución del CBR para la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB. .  | 95  |
| FIGURA 21: Evolución de la RCS para la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB.  | 95  |
| FIGURA 22: Estructura molecular del Policloruro de Vinilo (PVC). ....   | 99  |
| FIGURA 23: Ejemplo típico de distribución de costos de los componentes del sistema de manejo de residuos solidos .....      | 124 |
| FIGURA 24: Costos Unitarios de Manejo de Residuos Solidos.....  | 126 |
| FIGURA 25: Correlaciones Típicas entre las clasificaciones y propiedades de los suelos con el módulo de Resiliencia.....    | 175 |
| FIGURA 26: Curva granulométrica-Cantera Salcedo.....  | 178 |
| FIGURA 27: Curva granulométrica Cantera-Jallihuaya .....  | 179 |
| FIGURA 28: Curva granulométrica Cantera-Cuntur Wasi .....   | 179 |
| FIGURA 29: Comparación entre la curca granulométrica de la cantera Salcedo y el rango especificado por la EG-2013. ....     | 183 |
| FIGURA 30: Comparación entre la curca granulométrica de la cantera Jallihuaya y el rango especificado por la EG-2013. ....  | 184 |
| FIGURA 31: Comparación entre la curca granulométrica de la cantera Cuntur Wasi y el rango especificado por la EG-2013. .... | 185 |
| FIGURA 32: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC.....            | 190 |
| FIGURA 33: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC.....         | 194 |
| FIGURA 34: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC.....        | 197 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 35: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC.....   | 200 |
| FIGURA 36: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC .....   | 201 |
| FIGURA 37: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC .....  | 202 |
| FIGURA 38: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC .....   | 202 |
| FIGURA 39: Resumen de curvas de compactación-Cantera Salcedo.....  | 203 |
| FIGURA 40: Resumen de curvas de compactación-Cantera Salcedo.....  | 204 |
| FIGURA 41: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC .....   | 205 |
| FIGURA 42: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC.....   | 206 |
| FIGURA 43: Resumen de curvas de compactación-Cantera Jallihuaya. ....  | 207 |
| FIGURA 44: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Cuntur Wasi) y material con adición de PVC. ....  | 208 |
| FIGURA 45: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Cuntur Wasi) y material con adición de PVC.....  | 209 |
| FIGURA 46: Resumen de curvas de compactación-Cantera Cuntur Wasi. ....   | 209 |
| FIGURA 47: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Salcedo.....  | 212 |
| FIGURA 48: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Salcedo.....  | 214 |
| FIGURA 49: CBR a los 12 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC .....  | 216 |
| FIGURA 50: CBR a los 25 golpes al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC .....  | 217 |
| FIGURA 51: CBR a los 56 golpes al 100% de la máxima densidad seca, para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC.....  | 218 |
| FIGURA 52: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Jallihuaya. ....  | 220 |
| FIGURA 53: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Cuntur Wasi. ....   | 223 |
| FIGURA 54: Granulometría original de la Cantera Salcedo.....   | 230 |
| FIGURA 55: Granulometría Cantera Salcedo Adicionándole 6% de desecho de PVC. ....  | 230 |
| FIGURA 56: Granulometría original de la Cantera Jallihuaya. ....   | 231 |
| FIGURA 57: Granulometría Cantera Jallihuaya Adicionándole 6% de desecho de PVC. ....   | 231 |
| FIGURA 58: Correlación del % de Abrasión para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).....               | 237 |
| FIGURA 59: Correlación de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).....      | 238 |
| FIGURA 60: Correlación del contenido de humedad óptimo para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4)..... | 238 |

FIGURA 61: Correlación del CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 239

FIGURA 62: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 239

FIGURA 63: Correlación del % de Abrasión para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4)..... 240

FIGURA 64: Correlación de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 240

FIGURA 65: Correlación del Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 241

FIGURA 66: Correlación del CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 241

FIGURA 67: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca, para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). ..... 242

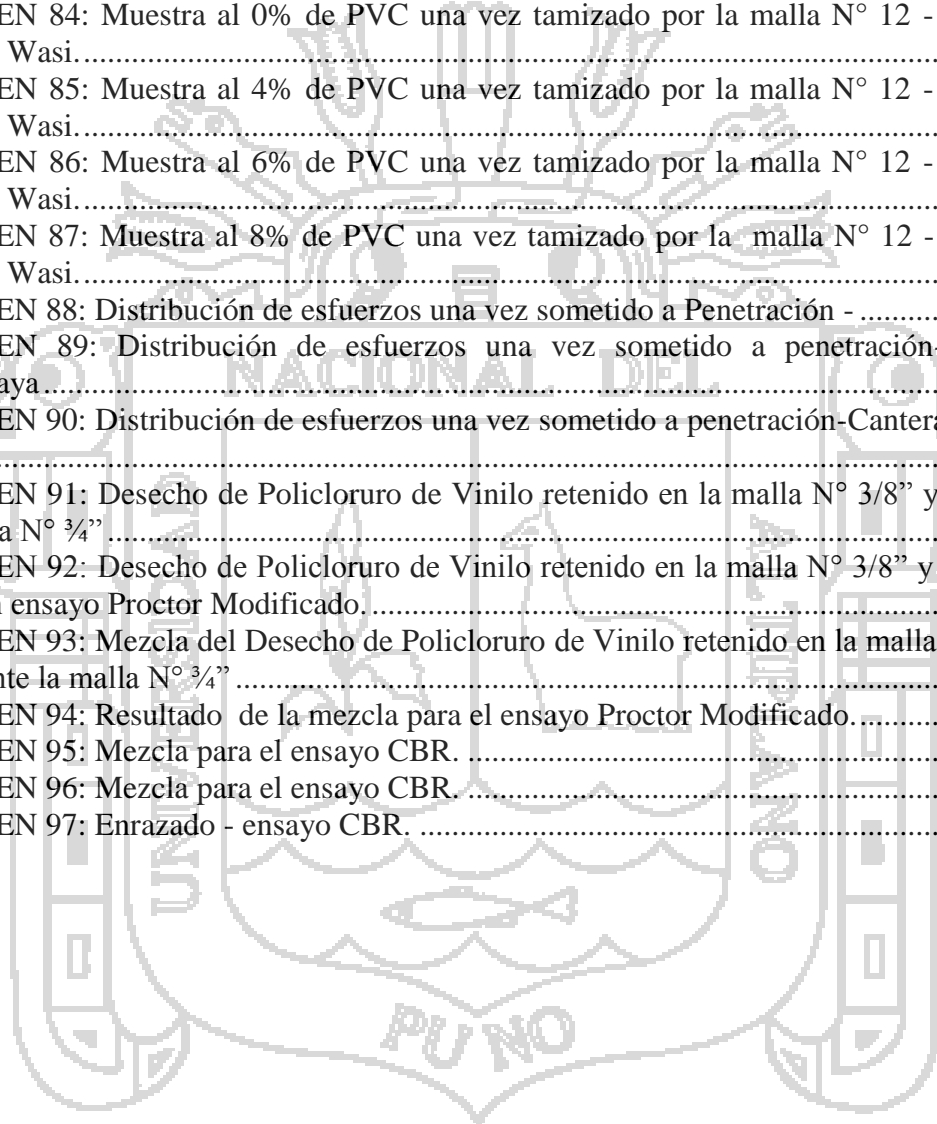


## ÍNDICE DE IMÁGENES

|  |     |
|--|-----|
| IMAGEN 1: Procedimiento de cuarteo. ....   | 46  |
| IMAGEN 2: Equipo usado durante el ensayo de Análisis Granulométrico. ....                                  | 50  |
| IMAGEN 3: Equipo usado durante el ensayo de Límite Líquido ....  | 53  |
| IMAGEN 4: Equipo usado durante el ensayo de Límite Plástico ....   | 55  |
| IMAGEN 5: Moldes para ensayo de compactación Proctor de 4" y 6" de diámetro. ....                          | 65  |
| IMAGEN 6: Equipo utilizado durante el ensayo de compactación. ....   | 66  |
| IMAGEN 7: Equipo utilizado durante el ensayo de CBR. ....  | 80  |
| IMAGEN 8: Equipo utilizado durante el ensayo de Abrasión los Ángeles. ....                                 | 84  |
| IMAGEN 9: Policloruro de Vinilo tipo Resina. ....  | 102 |
| IMAGEN 10: Aplicaciones de Policloruro de Vinilo tipo Resina. ....   | 103 |
| IMAGEN 11: Aplicación de Policloruro de Vinilo tipo Suspensión. ....                                       | 103 |
| IMAGEN 12: Acumulación de residuos sólidos de la Ciudad de Puno. ....                                      | 106 |
| IMAGEN 13: RESITEC DEL SUR E.I.R.L. ....   | 129 |
| IMAGEN 14: Acumulación de diferentes tipos de plásticos. ....  | 129 |
| IMAGEN 15: Acumulación de diferentes tipos de plásticos. ....  | 129 |
| IMAGEN 16: Desechos de PVC. ....   | 130 |
| IMAGEN 17: Acumulación de desechos de PVC. ....  | 130 |
| IMAGEN 18: Máquina trituradora de desechos plásticos - RESITEC DEL SUR E.I.R.L. ....                       | 131 |
| IMAGEN 19: Muestra triturada de desechos de PVC. ....  | 131 |
| IMAGEN 20: Tamizado del desecho de PVC: retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4. ....           | 132 |
| IMAGEN 21: Mapa del lugar en donde se encuentran las canteras utilizadas en la investigación. ....         | 133 |
| IMAGEN 22: Ubicación-Cantera Salcedo. ....   | 135 |
| IMAGEN 23: Ubicación-Cantera Jallihuaya. ....  | 136 |
| IMAGEN 24: Detalle de Ubicación de la Cantera Jallihuaya. ....   | 137 |
| IMAGEN 25: Ubicación-Cantera Cuntur Wasi. ....   | 137 |
| IMAGEN 26: Detalle de Ubicación de la Cantera Cuntur Wasi. ....  | 138 |
| IMAGEN 27: Detalle de Ubicación de las Canteras utilizadas en la investigación. ....                       | 138 |
| IMAGEN 28: Ubicación de calicatas-Cantera Salcedo. ....  | 140 |
| IMAGEN 29: Ubicación de calicatas-Cantera Jallihuaya. ....   | 140 |
| IMAGEN 30: Ubicación de calicatas-Cantera Kuntur Wasi. ....  | 141 |
| IMAGEN 31: Cantera Salcedo. ....   | 141 |
| IMAGEN 32: Cantera Salcedo-muestras extraídas. ....  | 142 |
| IMAGEN 33: Cantera Jallihuaya. ....  | 142 |
| IMAGEN 34: Cantera Jallihuaya-muestras extraídas. ....   | 143 |
| IMAGEN 35: Cantera Cuntur Wasi. ....   | 143 |
| IMAGEN 36: Cantera Cuntur Wasi-muestras extraídas. ....  | 143 |
| IMAGEN 37: Tamizado a Través del Juego de Tamices. ....  | 145 |
| IMAGEN 38: Muestras tamizadas por la malla N° 40. ....   | 146 |
| IMAGEN 39: Mezclado de la muestra con agua hasta obtener la consistencia de una pasta espesa y suave. .... | 147 |
| IMAGEN 40: Colocado de la muestra en la Cuchara de Casagrande. ....  | 147 |
| IMAGEN 41: Acanalamiento a través de una línea central a la mezcla contenida en la Cuchara. ....           | 148 |
| IMAGEN 42: Toma de muestra para determinar el contenido de humedad. ....                                   | 148 |
| IMAGEN 43: Muestra para el ensayo de Limite Plástico. ....   | 149 |

|   |     |
|---|-----|
| IMAGEN 44: Rolado de la muestra a razón de 80 a 90 ciclos por minuto.....   | 149 |
| IMAGEN 45: Obtención de muestras de 3.2mm de diámetro para determinar su contenido de humedad.....                    | 150 |
| IMAGEN 46: Lavado del material - Cantera Salcedo.....   | 151 |
| IMAGEN 47: Material retenido en los tamices 1", ¾", ½" y 3/8"- Cantera Salcedo...                                     | 151 |
| IMAGEN 48: Colocado de la muestra en la Máquina de los Ángeles - Cantera Salcedo. ....                                | 152 |
| IMAGEN 49: Colocado de la Carga Abrasiva en la Máquina de los ángeles - Cantera Salcedo. ....                         | 152 |
| IMAGEN 50: Tamizado de la muestra por la malla N° 12 - Cantera Salcedo.....   | 153 |
| IMAGEN 51: Preparación de 6 Kg de muestra para el ensayo Proctor Modificado - Cantera Salcedo. ....                   | 154 |
| IMAGEN 52: Mezcla del material con el 6% de PVC – Cantera Salcedo.....  | 155 |
| IMAGEN 53: Mezcla del material con el 6% de PVC y porcentaje de agua - Cantera Salcedo. ....                          | 155 |
| IMAGEN 54: Compactación con el pisón en caída libre -Cantera Salcedo.....   | 156 |
| IMAGEN 55: Retiro del collar de extensión para luego proceder a enrasar con la regla metálica - Cantera Salcedo. .... | 156 |
| IMAGEN 56: Extracción de una muestra representativa para Determinar el contenido de humedad-Cantera Salcedo.....      | 157 |
| IMAGEN 57: Mezcla del material al 6% de desecho de PVC – Cantera Salcedo.....   | 158 |
| IMAGEN 58: Mezcla removida al 6% de PVC - Cantera Salcedo.....  | 158 |
| IMAGEN 59: Extracción y colocado de la mezcla al 6% de PVC, en el molde respectivo - Cantera Salcedo.....             | 159 |
| IMAGEN 60: Compactación de la mezcla, al 6% de PVC - Cantera Salcedo.....   | 159 |
| IMAGEN 61: Enrazado de la mezcla en el molde, al 6% de PVC - Cantera Salcedo.   | 160 |
| IMAGEN 62: Invertido del molde y colocación de papel filtro debajo de, él al 6% de PVC - Cantera Salcedo. ....        | 160 |
| IMAGEN 63: Registro del peso húmedo más molde al 6% de PVC - Cantera Salcedo. ....                                    | 161 |
| IMAGEN 64: Saturación de moldes al 6% de PVC -Cantera Salcedo. ....   | 161 |
| IMAGEN 65: Lectura con extensómetro de cada molde sumergido.....  | 162 |
| IMAGEN 66: Drenaje de moldes al 6% de PVC - Cantera Salcedo.....  | 163 |
| IMAGEN 67: Lecturas del dial de carga.....  | 163 |
| IMAGEN 68: Muestras una vez sometidas a penetración.....  | 164 |
| IMAGEN 69: Detalle de la muestra una vez sometida a penetración. ....   | 164 |
| IMAGEN 70: Carta geológica-Puno .....   | 173 |
| IMAGEN 71: Muestra una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo.....   | 190 |
| IMAGEN 72: Muestra una vez tamizado por la malla N° 12- Cantera Salcedo.....  | 191 |
| IMAGEN 73: Muestra adicionándole 4% de PVC - Cantera Salcedo.....   | 191 |
| IMAGEN 74: Muestra al 4% de PVC una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo. ....                                   | 192 |
| IMAGEN 75: Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo. ....                           | 192 |
| IMAGEN 76: Muestra al 6% de PVC una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo. ....                                   | 193 |
| IMAGEN 77: Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo. ....                           | 193 |
| IMAGEN 78: Muestra al 8% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo. ....                           | 194 |

|   |     |
|---|-----|
| IMAGEN 79: Muestra retenidos en las mallas 1", 3/4", 1/2" y 3/8" - Cantera Jallihuaya.                                | 195 |
| IMAGEN 80: Muestra al 0% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Jallihuaya.                             | 195 |
| IMAGEN 81: Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Jallihuaya.                             | 196 |
| IMAGEN 82: Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Jallihuaya.                             | 196 |
| IMAGEN 83: Muestra al 8% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Jallihuaya.                             | 196 |
| IMAGEN 84: Muestra al 0% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.                            | 198 |
| IMAGEN 85: Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.                            | 198 |
| IMAGEN 86: Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.                            | 198 |
| IMAGEN 87: Muestra al 8% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.                            | 199 |
| IMAGEN 88: Distribución de esfuerzos una vez sometido a Penetración -   | 215 |
| IMAGEN 89: Distribución de esfuerzos una vez sometido a penetración-Cantera Jallihuaya                                | 222 |
| IMAGEN 90: Distribución de esfuerzos una vez sometido a penetración-Cantera Cuntur Wasi                               | 224 |
| IMAGEN 91: Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4"                   | 265 |
| IMAGEN 92: Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y muestra para en ensayo Proctor Modificado. | 266 |
| IMAGEN 93: Mezcla del Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4"        | 266 |
| IMAGEN 94: Resultado de la mezcla para el ensayo Proctor Modificado.  | 267 |
| IMAGEN 95: Mezcla para el ensayo CBR.   | 267 |
| IMAGEN 96: Mezcla para el ensayo CBR.   | 268 |
| IMAGEN 97: Enrazado - ensayo CBR.   | 268 |





## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| TABLA 1: Fallas en la capa carpeta de rodadura.....   | 34  |
| TABLA 2: Ensayos de calidad de agregados. ....  | 35  |
| TABLA 3: Requerimientos granulométricos para Base Granular.....   | 37  |
| TABLA 4: Características del CBR. ....  | 37  |
| TABLA 5: Requerimientos agregado grueso. ....   | 37  |
| TABLA 6: Requerimientos agregado fino. ....   | 38  |
| TABLA 7: Requerimientos granulométricos para Sub Base Granular. ....  | 39  |
| TABLA 8: Requerimientos de ensayos especiales.....  | 39  |
| TABLA 9: Resumen de especificaciones para materiales empleados en construcción de carreteras.....                     | 40  |
| TABLA 10: Ensayo de plasticidad en campo. ....  | 43  |
| TABLA 11: Cantidad de muestra para contenido de humedad.....  | 48  |
| TABLA 12: Clasificación de suelos por el método AASHTO .....  | 58  |
| TABLA 13: Sistema unificado de clasificación de suelos. ....  | 62  |
| TABLA 14: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) A.S.T.M. D 2487-93.....                             | 63  |
| TABLA 15: Número de golpes de compactación en las normas actualmente disponibles para el ensayo CBR .....             | 70  |
| TABLA 16: Número de golpes por capa para la norma: M-MMP-1-11-08 (Norma Mexicana).....                                | 70  |
| TABLA 17: Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½” .....                             | 84  |
| TABLA 18: Comportamiento del material granular tipo Sub Base.....   | 87  |
| TABLA 19: Análisis comparativo de las propiedades del material granular tipo sub base sin aditivo y con aditivo. .... | 88  |
| TABLA 20: Densidad seca máxima y humedad óptima material con adición de NaCl. 90                                      |     |
| TABLA 21: Resultados CBR con respecto a la adición NaCl. ....   | 91  |
| TABLA 22: Valores del CBR al 100% de densidad. CBR del suelo natural.....   | 94  |
| TABLA 23: Valores de la RCS en kg/cm <sup>2</sup> . RCS del suelo natural: 8 .....                                    | 94  |
| TABLA 24: Valores del hinchamiento libre. Hinchamiento del suelo natural: 7.90% ..                                    | 94  |
| TABLA 25: Hinchamiento de la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB.....  | 96  |
| TABLA 26: Codificación internacional de los plásticos (polímeros).....  | 99  |
| TABLA 27: Aplicaciones industriales del Policloruro de Vinilo (PVC).....  | 101 |
| TABLA 28: Composición de los residuos sólidos municipales.....  | 105 |
| TABLA 29: Composición física de residuos sólidos en la ciudad de Puno.....  | 107 |
| TABLA 30: Proyección anual de la generación de residuos domiciliarios.....  | 108 |
| TABLA 31: Composición física de residuos sólidos domiciliarios. ....  | 109 |
| TABLA 32: Cálculo de generación total de residuos comerciales.....  | 110 |
| TABLA 33: Composición física de residuos sólidos comerciales. ....  | 111 |
| TABLA 34: Generación de residuos en restaurantes. ....  | 112 |
| TABLA 35: Generación de residuos en hospedajes.....   | 112 |
| TABLA 36: Generación de residuos en mercados. ....  | 113 |
| TABLA 37: Generación de residuos en instituciones educativas. ....  | 113 |
| TABLA 38: Generación de residuos en instituciones. ....   | 113 |
| TABLA 39: Generación de residuos del barrido de calles.....   | 113 |
| TABLA 40: Generación total de residuos sólidos en distrito de Puno.....   | 114 |
| TABLA 41: Generación de residuos sólidos municipales. ....  | 115 |
| TABLA 42: Generación de residuos de ámbito no municipal. ....   | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| TABLA 43: Generación total de residuos sólidos municipales en la ciudad de Puno.  | 115 |
| TABLA 44: Composición física de los residuos sólidos.....   | 116 |
| TABLA 45: Generación de Residuos Sólidos según Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos, 2013 .....   | 117 |
| TABLA 46: Generación de Residuos Sólidos de desecho de PVC-Encuestas .....  | 118 |
| TABLA 47: Listado de Precios (S/. por Kg.) de comercialización de residuos sólidos, 2009 .....  | 119 |
| TABLA 48: Precios referenciales de Residuos Sólidos Reaprovechables (No incluye IGV), 2010-2011 .....   | 120 |
| TABLA 49: Precios referenciales de Residuos Sólidos Reaprovechables (No incluye IGV), 2011-2012 .....   | 121 |
| TABLA 50: Costos de comercialización de Residuos Plásticos-Desechos de Policloruro de Vinilo .....  | 122 |
| TABLA 51: Costos típicos de manejo de Residuos Sólidos- Desechos de Policloruro de Vinilo.....  | 124 |
| TABLA 52: Precio Unitario de desecho de Policloruro de Vinilo por Kilogramo .....   | 126 |
| TABLA 53: Sistema de variables.....   | 127 |
| TABLA 54: Valores para la Carga unitaria Patrón .....   | 168 |
| TABLA 55: Resistencia a la penetración del material patrón.....   | 169 |
| TABLA 56: Comparación entre CBR obtenido en la investigación y rango de CBR según manual del MTC (Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013). ..... | 174 |
| TABLA 57: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Salcedo.....   | 180 |
| TABLA 58: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Jallihuaya.....  | 180 |
| TABLA 59: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Cuntur Wasi.....   | 180 |
| TABLA 60: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC. ....  | 180 |
| TABLA 61: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC. ....   | 180 |
| TABLA 62: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC.....   | 181 |
| TABLA 63: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC. ....  | 181 |
| TABLA 64: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC. ....  | 181 |
| TABLA 65: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC. ....   | 181 |
| TABLA 66: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC. ....  | 181 |
| TABLA 67: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC. ....   | 182 |
| TABLA 68: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC. ....  | 182 |
| TABLA 69: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC. ....   | 182 |
| TABLA 70: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Salcedo con la EG-2013. ....  | 186 |
| TABLA 71: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013. ....   | 186 |

|  |     |
|--|-----|
| TABLA 72: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013. ....   | 186 |
| TABLA 73: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Salcedo con la EG-2013. ....  | 187 |
| TABLA 74: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013. ....   | 187 |
| TABLA 75: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013. ....  | 187 |
| TABLA 76: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Salcedo con la EG-2013. ....   | 188 |
| TABLA 77: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013. ....  | 188 |
| TABLA 78: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013. ....   | 189 |
| TABLA 79: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....   | 189 |
| TABLA 80: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....  | 194 |
| TABLA 81: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....   | 197 |
| TABLA 82: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....   | 200 |
| TABLA 83: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....  | 200 |
| TABLA 84: Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....                  | 201 |
| TABLA 85: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....  | 205 |
| TABLA 86: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....   | 206 |
| TABLA 87: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....   | 208 |
| TABLA 88: Contenido de Humedad Óptimo del material de cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC. ....  | 208 |
| TABLA 89: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....     | 210 |
| TABLA 90: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC, al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....    | 211 |
| TABLA 91: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....  | 219 |
| TABLA 92: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca. .... | 222 |
| TABLA 93: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....                 | 225 |
| TABLA 94: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....                 | 226 |
| TABLA 95: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....                 | 226 |
| TABLA 96: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca. ....                 | 227 |

|   |     |
|---|-----|
| TABLA 97: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca.....         | 227 |
| TABLA 98: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca.....         | 228 |
| TABLA 99: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca.....         | 228 |
| TABLA 100: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca.....        | 228 |
| TABLA 101: Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.....  | 234 |
| TABLA 102: Tabla de Correlación.....  | 234 |
| TABLA 103: Identificación de Hipótesis.....   | 236 |
| TABLA 104: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo Abrasión los Ángeles-Cantera Salcedo.....                   | 244 |
| TABLA 105: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 25 golpes de compactación-Cantera Salcedo.....    | 246 |
| TABLA 106: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Salcedo.....    | 248 |
| TABLA 107: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo Abrasión los Ángeles-Cantera Jallihuaya.....                | 251 |
| TABLA 108: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 25 golpes de compactación-Cantera Jallihuaya..... | 253 |
| TABLA 109: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Jallihuaya..... | 255 |

## RESUMEN

El desempeño de obras de pavimento en carreteras y/o pistas, depende del comportamiento de los materiales empleados en las diferentes capas estructurales del pavimento (Base y Sub Base).

En la mayoría de los proyectos carreteros se imponen la utilización del suelo superficial disponible (suelo que se encuentra en el mismo lugar del proyecto) como materia prima fundamental en la construcción y/o se debe trabajar con materiales que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente (Rodríguez, Rondón & Vélez, 2006). La mejora de este suelo mediante compactación y la incorporación de material granular o estabilizador, constituye una estrategia indispensable para lograr materiales adecuados a los requerimientos.

El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad

volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre, ellos a lo largo de su vida útil. La estabilización de los suelos en la ingeniería práctica, particularmente en las vías terrestres, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento esfuerzo deformación de los suelos.

La presente investigación presenta los resultados experimentales de ensayar los suelos de las canteras: Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi ubicadas en la Provincia de Puno - Distrito de Puno, estabilizadas con desechos de Policloruro de Vinilo (PVC), suministrado por la E.I.R.L. RESITEC DEL SUR-PUNO.

Para una mejor comprensión y entendimiento de los contenidos de la presente tesis de investigación, los temas relacionados fueron separados en capítulos, los cuales están distribuidos de la siguiente forma:

**CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En, este capítulo se muestra la descripción del problema, enunciado del problema, justificación de la investigación, delimitación de la investigación y objetivos de investigación.

**CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.**

En, esta sección se muestra el sustento teórico relacionado con los procedimientos seguidos para la elaboración de la presente tesis, además se complementa con antecedentes realizados de temas que siguen la misma tendencia de investigación y de, esta forma se plantea la hipótesis y sistema de variables.

**CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.**

En, este capítulo se presenta la metodología utilizada, el tipo y diseño de investigación para su ejecución, así también se menciona los materiales utilizados; ya que se requiere de un análisis exhaustivo también se describe la población y muestra. El Procedimiento de estudio hace una descripción general de ensayar los suelos de las canteras mencionadas

anteriormente, estabilizadas con desechos de Policloruro de Vinilo (PVC). Este capítulo también muestra la técnica e instrumentos de colecta de datos y el ámbito de estudio.

#### CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En, este capítulo se muestra un análisis e interpretación de todos los datos, para cada uno de los ensayos realizados, de la misma forma muestra una contrastación de los resultados con las normas y finalmente se realiza un tratamiento de datos y diseño estadístico.

#### CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

##### CONCLUSIONES:

En, esta parte se muestran las conclusiones a las que se llegaron una vez desarrollado los capítulos ya mencionados.

##### SUGERENCIAS:

Se presenta algunas recomendaciones, presentando las utilidades del tema estudiado, ya que se hace necesario seguir investigando más ampliamente otros factores, por ser este tema nuevo en nuestro ámbito Regional y Nacional.

##### GLOSARIO DE TÉRMINOS:

Se presentan definiciones de términos, para una mayor comprensión y entendimiento de la presente tesis de investigación.

##### BIBLIOGRAFÍA:

Se presenta toda la bibliografía utilizada para la realización de la investigación.

#### CAPÍTULO VI:

##### ANEXOS

Para un mejor entendimiento del procedimiento utilizado en la presente tesis de investigación. Se presenta detalles sobre la ejecución y panel fotográfico, resultados de la correlación con una hoja de cálculo Excel, así mismo se presenta los ensayos y fichas de

observación de suelos en laboratorio, un análisis de costo unitario con la estabilización de desecho de Policloruro de Vinilo en una partida específica, asimismo se presenta la certificación de haber hecho los ensayos de suelos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la UNA-Puno, también se presenta un análisis de disponibilidad de desechos de Policloruro de Vinilo en proyectos carreteros. Y finalmente se muestra un estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del distrito de Puno.



## INTRODUCCIÓN



Las estructuras de pavimentos están constituidas por múltiples capas horizontales de diferentes propiedades mecánicas, iniciando por la carpeta de rodadura, seguida por capas granulares y finalizando en el terreno natural. Una de las funciones de, estas capas son las de absorber los esfuerzos producidos por el flujo vehicular (Debido al incremento de las cargas por eje en los vehículos pesados y el desarrollo de la tecnología automotriz.) y transmitirlos al terreno natural, por tanto, es necesario adecuarse a las demandas actuales de tráfico, pero, también se deben prever las futuras (Reyes Ortiz, Camacho Tauta, & Troncoso Rivera, 2006), para lo cual las condiciones de compactación y material que las constituyen deben cumplir unos requerimientos que, en oportunidades no se cumplen en estado natural y es necesario adicionar algún elemento industrial o tener un proceso constructivo diferente para satisfacer los requerimientos mínimos estipulados por la normatividad (Reyes Ortiz, 2000).

En la Provincia de Puno-Distrito de Puno, los materiales granulares que cumplan con las especificaciones exigidas por la EG-2013, para la conformación de estructuras de pavimento son de difícil obtención. En algunas ocasiones el profesional responsable debe trabajar con materiales granulares que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente (Rodríguez Rincón, Rondón Quintana, & Vélez Pinzón, 2006). Esto trae como consecuencia el deterioro temprano de las vías y/o pistas que se construyen en nuestro Distrito de Puno.

En nuestro medio existe una cantidad considerable de canteras, de los cuales, los más utilizados para la construcción y/o conformación de las capas Base y/o Sub Base de los proyectos carreteros, pistas etc. en nuestra Provincia de Puno-Distrito de Puno son: La Cantera Salcedo y la Cantera Jallihuaya, pero, en la presente investigación de tesis a, estas canteras se les está considerando como no aptas, ya que al momento de realizar los ensayos en laboratorio, estos presentan un Índice de Plasticidad (IP) mayor al que indica la EG-2013, un porcentaje de Abrasión mayor al que indica la EG-2013, como también no



cumplen con la granulometría ni el Valor Relativo de Soporte (CBR) que indica, esta norma (la contrastación respectiva con la norma EG-2013, se encuentra en el ítem 4.3.1), para materiales que van a conformar una estructura de un Pavimento (Base y Sub Base).

En ese entender, esta investigación utilizará fundamentalmente el material conformado por las canteras indicadas anteriormente, ubicadas en la Provincia de Puno - Distrito de Puno, sin embargo, también se tomó en cuenta la Cantera Cuntur Wasi, para efectos de la presente investigación.

Ya que las canteras de mayor uso en los proyectos carreteros, pistas, etc. Son consideradas no aptos, la inclusión de algunos materiales como agentes estabilizantes de suelos, permitirá que se mejoren algunas de sus propiedades (principalmente las de resistencia), disminuyan los costos, en especial si, dichos materiales provienen de subproductos industriales o de reciclaje.

La inquietud de estabilizar o modificar los suelos ha permitido que se generen métodos innovadores que, aunque basados en los convencionales, hacen uso de aditivos y procesos diferentes. Siguiendo, esta tendencia se presenta, esta investigación donde se estudiara el comportamiento en cuanto a las propiedades mecánicas de un suelo (material de cantera) en su estado natural, y el mismo material adicionándole un producto que hasta ahora no se había usado como agente estabilizador : **el desecho de Policloruro de Vinilo (PVC)**. La estabilización de, estos suelos con desechos de Policloruro de Vinilo (PVC), constituye una alternativa a utilizar en nuestra Provincia de Puno - Distrito de Puno, ya que el Policloruro de Vinilo (PVC), es el polímero más utilizado en el mundo, debido a su versatilidad y propiedades entre las que destacan: excelente rigidez, alta resistencia a la ruptura y resistencia química; además tiene varias aplicaciones en la industria de la construcción, por la enorme variedad de usos en la vida moderna, como: tuberías, conductos, perfiles de ventanas, aislamientos de suelos, membranas para techos y revestimientos, aislamientos de cables, paneles de instrumentos de vehículos, envases, vestimentas, y bolsas para sangre. (Dietrich, 2002). Ya que el Policloruro de Vinilo tiene una variedad de utilidades, en consecuencia, también se puede obtener una gran cantidad de desechos y darles un uso productivo, sin embargo, existen empresas recicladoras de plásticos en la Provincia de Puno-Distrito de Puno donde a los desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) no se les toma

en cuenta para su reciclado, y si las reciclan, se encuentran almacenadas en grandes cantidades donde no se les da utilidad.

Por otro lado, la utilización de este material, desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) como incorporación para la estabilización de suelos, aparte de mejorar la calidad del material de cantera, dándole una mayor durabilidad a la vía y al mismo tiempo prolongando la vida útil de los yacimientos de materiales pétreos (material de río) o evitando la creación de nuevos, también traerá beneficios medioambientales, ahorro de energía (Cadenas Armentia, Romero Robles, & Ainchil Lavin, 2008), reducir la demanda de recursos naturales no renovables y una mejor gestión de residuos sólidos plásticos, para nuestra Provincia de Puno - Distrito de Puno ya que, este material es altamente contaminante, no obstante, debido a tratarse de desechos es necesario que para su incorporación al suelos (material de cantera), se tome medidas a adoptar para su utilización.

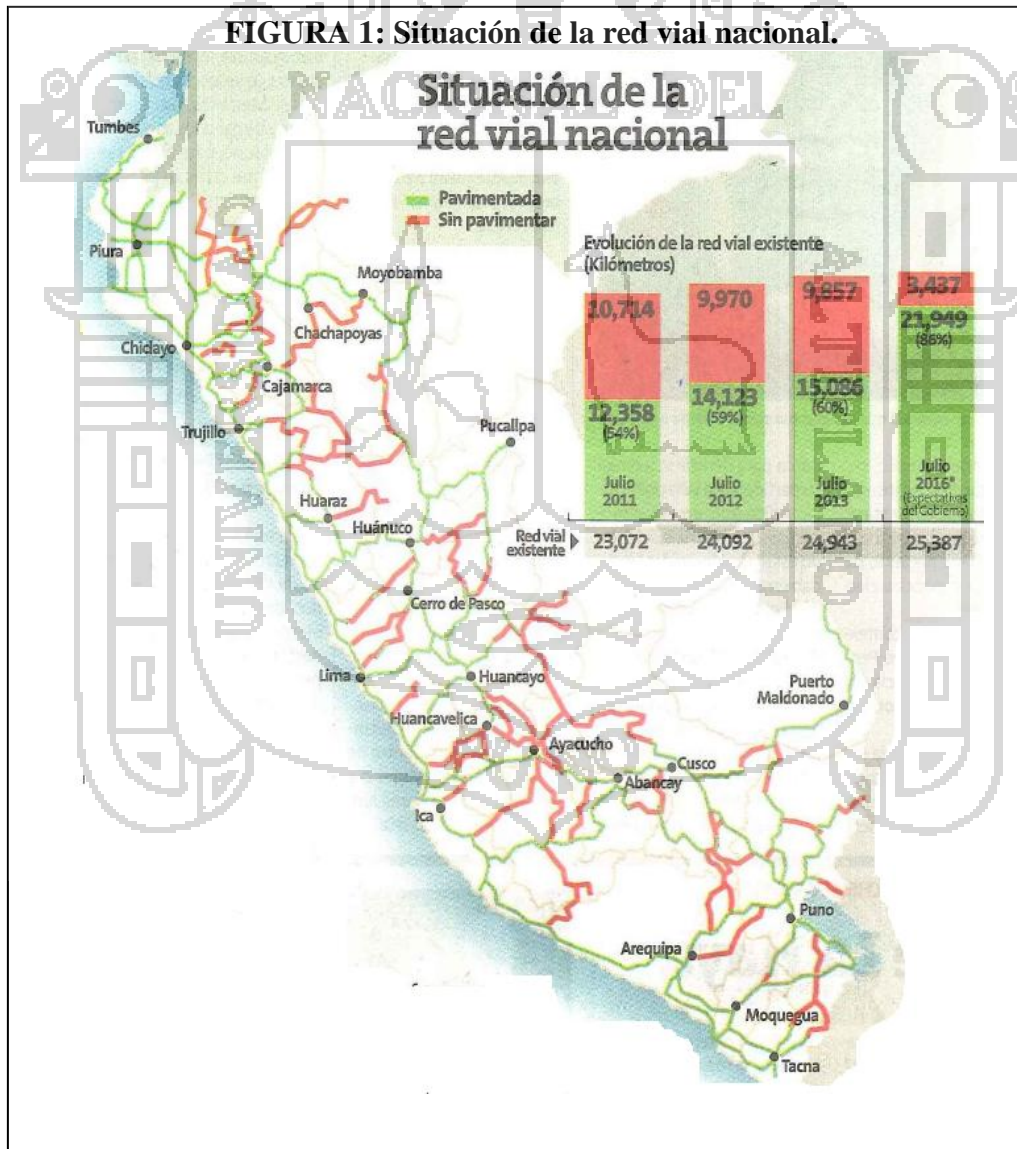


# CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La red vial nacional en nuestro País tiene una longitud de 23,072 Km. de carreteras existentes y 2,315 Km. de carreteras en proyecto, haciendo un total de 25,387 Km., de los cuales el 40% aún no está pavimentada, y según Provías Nacional la meta es tener pavimentada el 86% de la red vial en julio de 2016 (Perú21.PE, 2014, s/n).

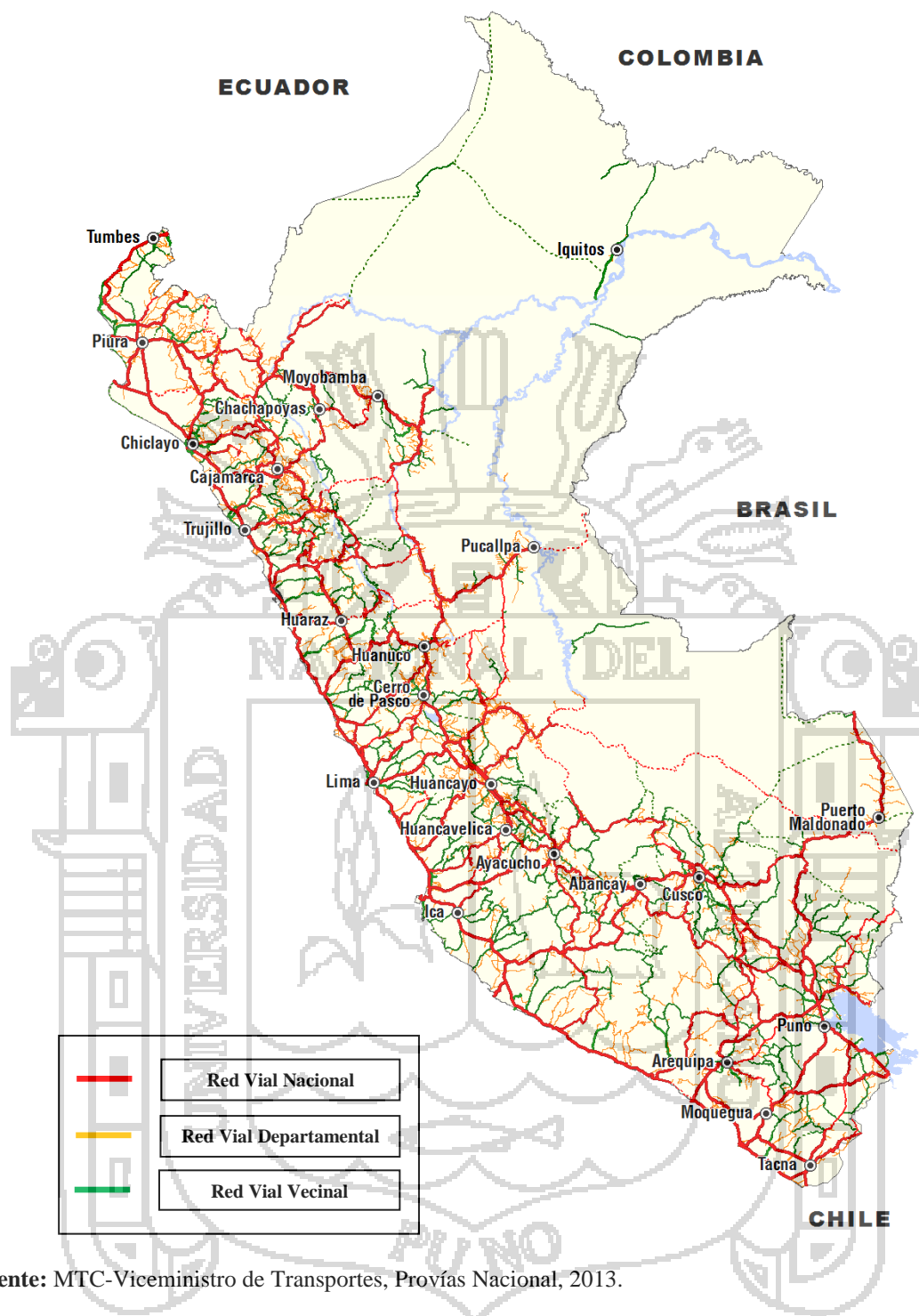


Fuente: MTC, Provías, Información a noviembre de 2013.

El sistema nacional de carreteras-SINAC está conformado por tres redes viales: Nacional, Departamental y Vecinal, las cuales realizan estudios, obras, mantenimiento de acuerdo a su respectiva circunscripción territorial es así que: La Red Vial Nacional comprende las carreteras de mayor importancia, de índole interregional que es competencia del Gobierno Central a través de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); de la red Vial Nacional existente, por el tipo de superficie de rodadura; el 60% (15,085.7 Km) está conformada por carreteras pavimentadas, de los cuales el 85.2% tiene superficie de asfalto y el 14.8% de asfalto con solución básica; las carreteras no pavimentadas representan el 40% (9,857.1Km). La Red Vial Departamental está conformado por las carreteras que articulan básicamente a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal; es competencia de los Gobiernos Regionales; según el tipo de superficie de rodadura el 9.2% (2,298.9 Km.) son carreteras pavimentadas y el 90.8% (22,678.4 Km.) son carreteras no pavimentadas y de, estas se tiene que 14,597.9 Km (64.4%) son afirmados y 8,080.6Km (35.6%) son vías no afirmadas. La Red Vial Vecinal, conformado por las carreteras que articulan las capitales de Provincia con capitales de Distrito, estos entre sí con Centros Poblados o zonas de influencia local y con las Redes Viales Nacional y Departamental; es competencia de los Gobiernos Locales o Municipios Provinciales en coordinación con los Gobiernos Regionales, está conformada de una red vial existente de 95,822.7 Km y una red vial en proyecto de 2,081.2 Km, sobre la red vial existente por el tipo de superficie de rodadura, se tiene que el 9.5% (1,627.2 Km.) son carreteras pavimentadas y el 90.5% (94,195.5 Km.) son carreteras no pavimentadas. Sobre la red vial no pavimentada se tiene que el 21.5% (20,260 Km.) son vías afirmadas y el 78.5% (73,935.5 Km.) está en condición de no Afirmada.<sup>1</sup>

### FIGURA 2: Competencias en infraestructura vial.

<sup>1</sup> Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Informe N° 03-2013-mtc/gtt-situación de las redes viales del SINAC-julio 2013, Lima 2013.



Fuente: MTC-Viceministro de Transportes, Proviás Nacional, 2013.

Ya que existe una gran parte de la Red Vial que aún no se encuentra pavimentada y muchas que están en proyecto, es necesario encontrar nuevos procedimientos y alternativas de construcción.

Generalmente los caminos pavimentados son atendidos mediante la ejecución de mantenimiento periódico o anual, con la reposición y/o mantenimiento de la superficie de rodadura, las que a corto tiempo se disgregan. El mantenimiento es realizado a causa de las fallas y desgaste de los pavimentos ocasionados por el incremento de las cargas por eje en los vehículos pesados, el desarrollo de la tecnología automotriz y a la carencia de suelos granulares con propiedades físicas y mecánicas acorde a las necesidades.

En el departamento de Puno, los suelos que cumplan con todas las normas establecidas por la EG-2013, para la conformación de estructuras de pavimentos, son de difícil obtención; en algunas ocasiones el Profesional responsable debe trabajar con materiales que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente o realizando la mezcla del suelo con material de préstamo (material de río) en diferentes proporciones para cada material (Rodríguez Rincón, et. al, 2006). En la mayoría de los casos el material de río se encuentra en canteras ubicadas a distancias muy lejanas del lugar de trabajo, lo que ocasiona una mayor inversión financiera para su transporte.

Una forma de mejorar la calidad del suelo, disminuir el proceso de desgaste, debilitamiento de la superficie de rodadura, aminorando los costos de mantenimiento vial y disminuyendo las inversiones financieras, es la estabilización de los suelos que conforman las capas del pavimento, mediante procedimientos mecánicas o químicas. La aplicación de un estabilizador tiene como objetivo, mejorar uno o más propiedades de comportamiento del suelo.

Por tanto es necesario proponer alternativas con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del suelo y prolongar la vida útil de, este así como las inversiones financieras; para lo cual se tiene como fin plantear el uso de insumos de bajo costo, como es el **desecho de Policloruro de Vinilo** y ver la influencia que tiene, este en la estabilización de suelos no aptos, para luego ser usados o no en la conformación de la capa Base y Sub Base de pavimentos.

## 1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿El desecho de Policloruro de Vinilo utilizado como estabilizador, mejora las propiedades mecánicas del suelo y hace que éste sea apto para su uso en la conformación de la Capa Base y Sub Base de pavimentos?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tiene el propósito de contribuir al establecimiento del conocimiento científico acerca de una alternativa de estabilización de suelos no aptos con desechos de Policloruro de Vinilo para su uso en la conformación de la Capa Base y Sub Base de pavimentos.

Para prolongar la vida útil de pavimentos, aminorar los costos de mantenimiento, disminuir las inversiones financieras al momento de realizar proyectos carreteros utilizando productos de bajo costo, disminuir el proceso de velocidad de desgaste y debilitamiento de las capas del pavimento, es necesario investigar acerca de nuevas soluciones básicas económicas, en especial si dichas soluciones provienen de subproductos industriales o de reciclaje, que permitan estabilizar un suelo mejorando sus propiedades mecánicas, en lugar de utilizar aditivos poco comunes y difíciles de encontrar en el mercado local y con un costo más elevado.

### **1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El ámbito de aplicación de la presente investigación es la Región Puno-Provincia de Puno-Distrito de Puno, de forma específica las canteras que se están utilizando en los proyectos carreteros, que se están ejecutando y las que se realizarán.

En lo que respecta a las propiedades del suelo, sólo se analizará aspectos mecánicos, dejando los factores químicos y biológicos a los profesionales de otras especialidades como biólogos, agrónomos, químicos, etc.

Para el análisis del desecho de Policloruro de Vinilo se tomará también aspectos físicos del mismo como el peso, y su composición de acuerdo a la teoría establecida e investigada hasta el momento. Esto en vista de que en la Región Puno-Provincia de Puno-Distrito de Puno, no se cuenta con un laboratorio moderno que analice la composición química del desecho de Policloruro de Vinilo.

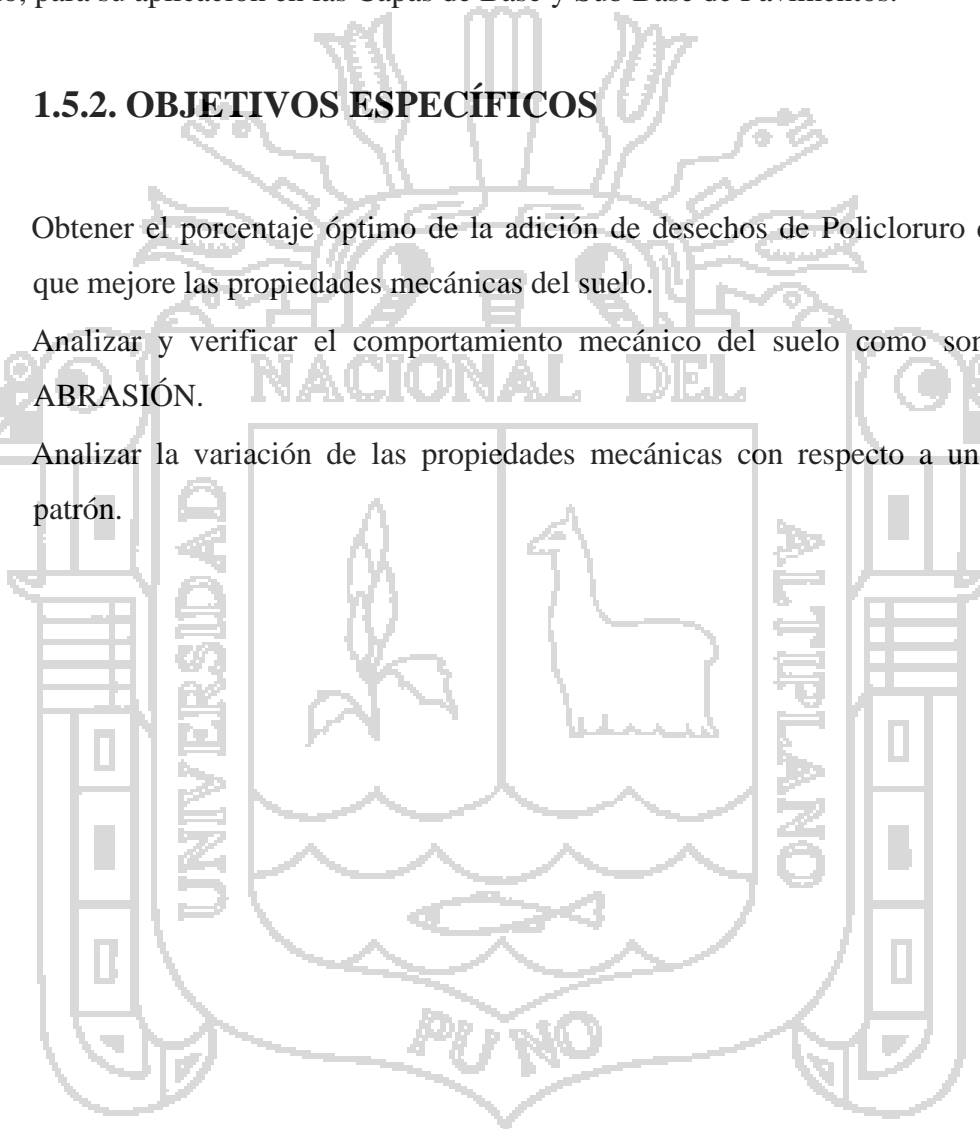
## 1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

### 1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con desecho de Policloruro de Vinilo, para su aplicación en las Capas de Base y Sub Base de Pavimentos.

### 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el porcentaje óptimo de la adición de desechos de Policloruro de Vinilo, que mejore las propiedades mecánicas del suelo.
- Analizar y verificar el comportamiento mecánico del suelo como son: CBR y ABRASIÓN.
- Analizar la variación de las propiedades mecánicas con respecto a una muestra patrón.





## CAPITULO II

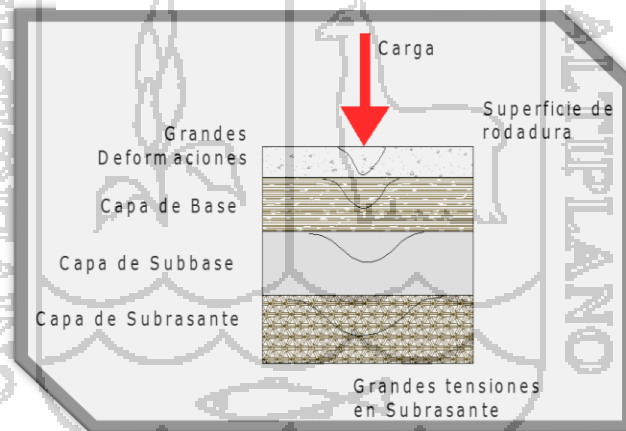
### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. SUSTENTO TEÓRICO

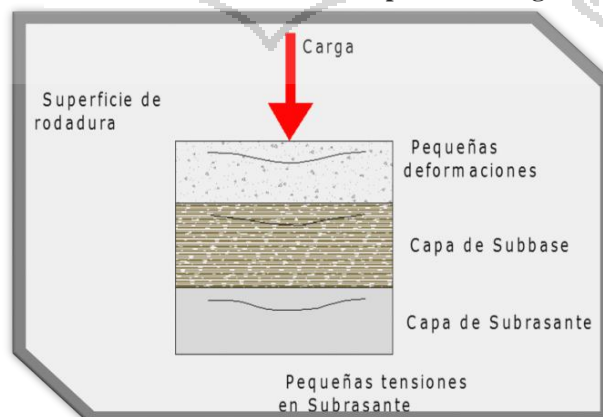
##### 2.1.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, mismos que se comportan muy diferente al aplicarles una carga (Competencias técnicas en aseguramiento y control de calidad en obras viales, 2009).

**FIGURA 3: Estructura de un pavimento flexible.**



**FIGURA 4: Estructura de un pavimento rígido.**







2.1.2.

2.1.3. FALLAS DE PAVIMENTOS

Las causas comunes que generan la degradación de los pavimentos se puede resumir en la tabla 1:

**TABLA 1: Fallas en la capa carpeta de rodadura.**

| FALLA                      | IMAGEN  | DESCRIPCIÓN                          | CAUSA DE FALLA         |
|----------------------------|---|--------------------------------------|------------------------|
| Burbujas                   |   | Ampolla                              | Base mal estabilizada  |
| Ondulaciones transversales |    | Ondulaciones perpendiculares al eje. | Base mal estabilizada. |
| Grietas finas              |   | Superficiales y muy cercanas.        | Base mal estabilizada. |
| Grieta transversal         |  | Igual descripción.                   | Base mal estabilizada. |
| Grieta longitudinal        |  | Separación > 20cm.                   | Base mal estabilizada. |

**Fuente:** Mendoza Mendiola María de los Angeles, 2008. Autora de la tesis “Bases y Sub Bases”, Instituto Politécnico Nacional – Escuela Superior De Ingeniería y Arquitectura – Unidad Zacatenco, 2008.

### 2.1.4. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES

“El suelo es considerado como el material de construcción más abundante del mundo y muchas veces el único recurso local con que cuenta el Ingeniero para las obras, en este caso, se busca que sus características cumplan los requisitos que exigen dichos trabajos” (LAMBE, W. & WHITMAN, R. Mecánica de suelos, 1999).

La inclusión de algunos materiales como agentes estabilizantes de suelos permite que se mejoren algunas de sus propiedades (principalmente la resistencia al punzamiento). En especial, si dichos materiales provienen de subproductos industriales o de reciclaje; y se actualicen las técnicas de estabilización, modificación o mejoramiento de suelos mediante la inclusión de materiales alternativos.

La inquietud de estabilizar o modificar los suelos ha permitido que se generen métodos innovadores que, aunque basados en los convencionales, hacen uso de aditivos y procesos diferentes. Siguiendo esta tendencia, se presenta esta investigación donde se estudió el comportamiento en cuanto a las propiedades mecánicas de un suelo (material de cantera) en su estado natural, y el mismo material adicionándole un producto que hasta ahora no se había usado como agente estabilizador : **El desecho de Policloruro de Vinilo (PVC)**.

### 2.1.5. CALIDADES DE AGREGADOS

Los agregados empleados en la construcción de carreteras, deben cumplir con especificaciones técnicas que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida. Los ensayos de calidad de agregados se resumen en la tabla 2.

**TABLA 2: Ensayos de calidad de agregados.**

| ENSAYOS                              | SUB<br>BASE | BASE<br>GRANULAR | ASFALTO |             |
|--------------------------------------|-------------|------------------|---------|-------------|
|                                      |             |                  | Piedra  | Arena       |
| Análisis granulométrico por tamizado | ✓           | ✓                | ✓       | ✓           |
| Límites de consistencia              | ✓           | ✓                |         | N° 40 y 200 |
| Abrasión                             | ✓           | ✓                | ✓       |             |
| Proctor modificado                   | ✓           | ✓                | ✓       |             |
| CBR                                  | ✓           | ✓                |         |             |
| Durabilidad                          |             |                  | ✓       | ✓           |

**Fuente:** Universidad Nacional de Ingeniería-Manual de laboratorio-ensayos para pavimentos-volumen I.

### **2.1.6. BASE GRANULAR**

“Capa de material pétreo seleccionado que se construye generalmente sobre la Sub Base, cuyas funciones principales son: proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que, esta trasmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediatamente inferior, proporcionar a la estructura de pavimento rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua” (Mendoza Mendiola & Guadarrama Ramos, 2008, p 44 )

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos.

Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

El valor cementante (Valor Relativo de Soporte) en una Base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las Bases se construyen con suelos inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales y longitudinales.

“En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un Valor Relativo de Soporte (CBR) y una plasticidad mínima” (Mendoza Mendiola & Guadarrama Ramos, 2008, p. 44) (Ortega Quiroz, 2008, p. 50).

#### **2.1.6.1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS**

##### **A) Agregados.**

Los agregados para la construcción de la Base deberán ajustarse a la siguiente franja granulométrica:

**TABLA 3: Requerimientos granulométricos para Base Granular.**

| Tamiz           | Porcentaje que Pasa en Peso |             |             |             |
|-----------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | Gradación A (1)             | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2")      | 100                         | 100         | ---         | ---         |
| 25 mm (1")      | ---                         | 75 – 95     | 100         | 100         |
| 9.5 mm (3/8")   | 30 – 65                     | 40 – 75     | 50 – 85     | 60 – 100    |
| 4.75 mm (N° 4)  | 25 – 55                     | 30 – 60     | 35 – 65     | 50 – 85     |
| 2.0 mm (N° 10)  | 15 – 40                     | 20 – 45     | 25 – 50     | 40 – 70     |
| 4.25 um (N° 40) | 8 – 20                      | 15 – 30     | 15 – 30     | 25 – 45     |
| 75 um (N° 200)  | 2 – 8                       | 5 – 15      | 5 -15       | 8 – 15      |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características mecánicas que a continuación se indican:

**TABLA 4: Características del CBR.**

| Valor Relativo de Soporte, CBR | Tráfico en ejes equivalentes (<math><10^6</math>) | Mín. 80%  |
|--------------------------------|---|---|
|                                |   | Tráfico en ejes equivalentes (>=10 <sup>6</sup> ) |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- (1) La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m. }

**B) Agregado grueso.**

Se denomina así a los materiales retenidos en la malla N° 4. Los requerimientos que deberán cumplir se resumen en la tabla 5.

**TABLA 5: Requerimientos agregado grueso.**

| ENSAYO               | Norma MTC | Norma ASTM | Norma AASHTO | Requerimientos       |             |
|----------------------|-----------|------------|--------------|----------------------|-------------|
|                      |           |            |              | Altitud              |             |
|                      |           |            |              | < Menor de 3000 msnm | ≥ 3000 msnm |
| Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | C 131      | T 96         | 40% máx.             | 40% máx.    |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### C) Agregado fino.

Se denominará así a los materiales pasantes la malla N° 4. Los requerimientos que deberán cumplir se resumen en la tabla 6.

**TABLA 6: Requerimientos agregado fino.**

| ENSAYO          | Norma     | Requerimientos   |                  |
|-----------------|-----------|------------------|------------------|
|                 |           | < 3 000 m.s.n.m. | > 3 000 m.s.n.m. |
| Índice Plástico | MTC E 111 | 4% máx.          | 2% máx.          |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### 2.1.7. SUB BASE GRANULAR

Capa de materiales pétreos, cuyas funciones principales son: proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica o una losa de concreto hidráulico, soportar las cargas que estas transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediatamente inferior; otra característica es que previene la migración de finos hacia las capas superiores.

#### 2.1.7.1. FUNCIONES DE LA SUB BASE GRANULAR

Como la calidad es inferior al de la Base (En cuanto al CBR, Abrasión, Índice de Plasticidad), la Capa Sub Base tiene también un efecto en la economía de la obra; ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de Base a un espesor equivalente de material Sub Base, sin embargo, esta capa no necesariamente se considera en todos los diseños de un pavimento flexible, sino más bien sólo en aquella cuya estructura es grande por la importancia de la obra.

“La capa Sub Base también impide que el agua de las terracerías (volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre) ascienda por capilaridad y evita que el pavimento sea absorbido por la Sub Rasante. También deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías” (Mendoza Mendiola & Guadarrama Ramos, 2008, p. 38)

#### 2.1.7.2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

### A) Agregados.

Los agregados para la construcción de la Sub Base deberán ajustarse a la siguiente franja granulométrica:

**TABLA 7: Requerimientos granulométricos para Sub Base Granular.**

| Tamiz           | Porcentaje que Pasa en Peso |             |             |             |
|-----------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | Gradación A (1)             | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2")      | 100                         | 100         | ---         | ---         |
| 25 mm (1")      | ---                         | 75 – 95     | 100         | 100         |
| 9.5 mm (3/8")   | 30 – 65                     | 40 – 75     | 50 – 85     | 60 – 100    |
| 4.75 mm (N° 4)  | 25 – 55                     | 30 – 60     | 35 – 65     | 50 – 85     |
| 2.0 mm (N° 10)  | 15 – 40                     | 20 – 45     | 25 – 50     | 40 – 70     |
| 4.25 um (N° 40) | 8 – 20                      | 15 – 30     | 15 – 30     | 25 – 45     |
| 75 um (N° 200)  | 2 – 8                       | 5 – 15      | 5 – 15      | 8 – 15      |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- (1) La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requerimientos de calidad, que muestra la tabla 8.

**TABLA 8: Requerimientos de ensayos especiales.**

| Ensayo                | Norma MTC | Norma ASTM | Norma AASHTO | Requerimiento |             |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------------|-------------|
|                       |           |            |              | < 3000 msnm   | ≥ 3000 msnm |
| Abrasión              | MTC E 207 | C 131      | T 96         | 50 % máx.     | 50 % máx.   |
| CBR (1)               | MTC E 132 | D 1883     | T 193        | 40 % mín.     | 40 % mín.   |
| Límite Líquido        | MTC E 110 | D 4318     | T 89         | 25% máx.      | 25% máx.    |
| Índice de Plasticidad | MTC E 111 | D 4318     | T 89         | 6% máx.       | 4% máx.     |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- (1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1” (2.5mm).

### 2.1.7.3. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.

**TABLA 9: Resumen de especificaciones para materiales empleados en construcción de carreteras.**

| ENSAYO   | SUB BASE GRANULAR |             | BASE GRANULAR   |               |                 |               |
|--|-------------------|-------------|---|---------------|-----------------|---------------|
|  | <3000 msnm        | ≥ 3000 msnm | <3000 msnm  |               | ≥ 3000 msnm     |               |
|  |                   |             | Agregado grueso   | Agregado fino | Agregado grueso | Agregado fino |
| Límite líquido (%)<br>ASTM D-4318              | 25% máx.          | 25% máx.    |   |               |                 |               |
| Índice plástico (%)                            | 6% máx.           | 4% máx.     |   | 4% máx.       |                 | 2% máx.       |
| Abrasión (%) ASTM C-131                        | 50% máx.          | 50% máx.    | 40 % máx.   |               | 40% máx.        |               |
| CBR al 100% de la M.D.S y 0.1” de penetración. | 40% min.          | 40% min.    | Tráfico en ejes equivalentes (<math><10^6</math>): Min. 80%<br>Tráfico en ejes equivalentes (>=10 <sup>6</sup> ): Min. 100% |               |                 |               |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, Oficina de Control de Calidad, 2013.



## **2.1.8. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS DE SUELOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA BASE Y SUB BASE.**

### **2.1.8.1. MUESTREO Y EXPLORACIÓN DE SUELOS**

Para realizar el estudio del suelo (material de cantera) para la presente investigación, se realizó un plan preliminar de exploración y muestreo de suelos, a fin de garantizar el éxito del proceso y obtener resultados confiables. En dicha programación de exploración y muestreo se pudo considerar tres fases, a fin de llevar un trabajo ordenado que permita lograr el objetivo final; dichas fases de exploración son:

- 1) Reconocimiento de campo**
- 2) Muestreo**
- 3) Descripción manual visual de suelos**

Esta fase (descripción manual visual de suelos) se considerada importante; se llevó a cabo casi paralela a la etapa de muestreo, a fin de realizar procedimientos de identificación de suelos en campo por simple inspección visual y examen a tacto del material extraído, con el propósito de obtener una calificación preliminar y referencial del suelo en análisis para su posterior contraste y corroboración con los resultados obtenidos en laboratorio. El desarrollo técnico de este procedimiento está reglamentado por la norma ASTM D 2488-84, en la que define el seguimiento de una serie de secuencias y ensayos estrictos:

#### **3.1) Inspección Visual**

Se observa y clasifica las partículas del material conformante (arena, grava) en cuanto a su grado de angulosidad y canto rodado. El tamaño y graduación de los granos se reconocen fácilmente por inspección visual.

#### **3.2) Ensayo de Rotura**

Este ensayo es usado para determinar la resistencia en seco de un determinado suelo, que es una medida de su cohesión. Para ello se toma una porción de la muestra húmeda extraída, se separan las partículas gruesas para dejarla secar y luego proceder a ensayar su resistencia en seco desmenuzándola entre los dedos, distinguiéndola entre una resistencia

en seco ligera (limo inorgánico), resistencia en seco media (arcilla inorgánica) o resistencia en seco alta (arcilla inorgánica de alta plasticidad).

### **3.3) Ensayo de Olor**

Este ensayo consiste en identificar a través del olfato, el olor en muestra de suelos extraídos recientemente de suelos orgánicos ya que tiene un olor distintivo que ayuda a su identificación. En muchos casos si se percibe un olor inusual se podrá hacer más manifiesto calentando la muestra húmeda.

### **3.4) Ensayo de Color**

Ensayo que bajo procedimientos visuales y describiendo la coloración del suelo húmedo, observando cualquier otra característica afín, ayudan a identificar o para su contraste con otro de similar origen geológico.





### **3.5) Ensayo al Brillo**

Ensayo que consiste inicialmente en frotar una muestra de suelo en estado seco o ligeramente húmeda con la uña del dedo o con una hoja de navaja. Una superficie que ofrezca una característica brillante indica una arcilla muy plástica, una superficie mate indica un limo o una arcilla de baja plasticidad.

### **3.6) Ensayo de Plasticidad**

Este ensayo consiste en separar una porción de suelo húmedo sin partículas gruesas. Se mezcla y se toma una pequeña cantidad para empezar a rodarla con la palma de la mano sobre una superficie plana formando cilindros de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y se pliegan los cilindros formando una esfera, repitiendo el proceso hasta que la pérdida de la humedad hace que el cilindro se desmenuce cuando se rueda. Se observa el endurecimiento de los cilindros según se alcanza el límite plástico y se ensaya para ver si las piezas desmenuzadas pueden ser amasadas otra vez. Dado que cualquier suelo que pueda ser enrollado fácilmente en forma de cilindro sin desmenuzarse es plástica, es posible determinar si es una arcilla de gran plasticidad si forma un tenaz cilindro que pueda ser remoldado en una masa y deformado presionando fuertemente con los dedos sin que se desmenuce. Si el suelo es de plasticidad media formara un cilindro de moderada tenacidad pero la masa se desmenuza pronto, en un suelo de baja plasticidad, forma un débil cilindro que no puede ser amasado nuevamente por debajo del límite plástico.

**TABLA 10: Ensayo de plasticidad en campo.**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>No plástico</b>, si no se puede formar un cordón;</p>   |  |
| <p><b>Ligeramente plástico</b>, si se puede formar un cordón, pero se rompe fácilmente y vuelve a su estado anterior;</p>   |  |
| <p><b>Plástico</b>, si se puede formar un cordón, pero al romperse y volver a su estado anterior, no se puede formar nuevamente</p>                               |  |
| <p><b>Muy plástico</b>, si se puede formar un cordón que no se rompe fácilmente y cuando se rompe, se puede amasar entre las manos y volver a formarlo varias</p> |  |

Fuente: Elaboración Propia.

**2.1.8.1.1. ESTUDIO Y UBICACIÓN DE CANTERAS**

**a) Generalidades**

Se llama cantera a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesario para la construcción de una obra. Localizar una cantera es más que descubrir un lugar donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos para emplearse en una determinada obra, satisfaciendo ciertas especificaciones de calidad y volumen, ese concepto implica además tener en cuenta ciertos aspectos colaterales como su permanencia en el tiempo, su situación legal, entre otros.

En resumen podemos decir que una cantera es aceptable:

- Por su calidad.
- Por su potencia y rendimiento.
- Por su accesibilidad.
- Por su situación legal.

**b) Evaluación de Canteras**

El material a ser utilizado para la construcción de una obra, en este caso de una obra vial, no solamente debe de satisfacer en volumen, si no que esta deberá satisfacer las especificaciones técnicas de calidad. A la vez que deberán tomarse en cuenta aspectos colaterales para ser calificadas como aptas. Para que una cantera pueda ser catalogada como tal deberá prestar las siguientes características:

**b.1. Calidad del material.-** Está se manifiesta por el grado de cumplimiento de las especificaciones que se busca como son: la forma de las partículas, granulometría, ensayos de compactación, CBR, límites de consistencia y otros.

**b.2. Accesibilidad.-** Se refiere básicamente a las vías de acceso, su estado o costo de construcción para la extracción del material.

**b.3. Su situación legal.-** Este es un aspecto fundamental que puede ocasionar gastos innecesarios, atrasos y/o paralizaciones de la obra, si no se toman en cuenta durante la etapa de exploración.

### **2.1.8.2. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Es en realidad el ensayo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, que se logra tener los datos definitivos de las características del suelo para su respectivo análisis y conclusión final.

#### **2.1.8.2.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN LABORATORIO**

##### **a) Generalidades**

Para poder efectuar los diferentes ensayos de suelos en laboratorio se requiere contar con material representativo de suelo en cantidad suficiente, de manera que satisfagan los requerimientos de procedimientos de ensayos con lo cual se realiza previamente una operación de reducción de las muestras denominada cuarteo, de manera que al finalizar su proceso quede una muestra tal que refleje exactamente las características del terreno o cantera. Los procedimientos de reducción que se practican son de tipo mecánico y manual siendo este último el de uso convencional en nuestro País y se practica en la mayoría de laboratorios de Mecánica de Suelos, asfaltos y concretos de nuestra zona, debido por razones de bajo costo y gran confiabilidad.

##### **b) Objetivos**

Reducir una muestra representativa de suelo mediante un procedimiento manual, una muestra representativa de suelo a un tamaño conveniente o de dividirla en dos o más partes con el fin de efectuar ensayos con ellos.

##### **c) Equipos**

- Lona plástica de 2.00 x 2.50 m.
- Pala manual.

- Bandeja metálica.
- Badilejo.
- Varilla metálica de 1.50 m.
- Brocha o cepillo

#### **d) Procedimiento**

- Se extiende la lona plástica y se deposita sobre ella la muestra representativa extraída a fin de dejarla secar al aire, removiendo con el badilejo cada cierto tiempo de manera que el material seque de una forma uniforme.
- Seca la muestra, con el martillo de goma se procede a desmenuzar los terrones del material formado, a fin de obtener una mezcla uniforme y evitando en todo momento un posible fracturamiento de las piedras constituyentes del mismo.
- Se mezcla hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación un mínimo de cuatro veces, cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono de modo que el material caiga uniformemente por los lados.
- Esparcir cuidadosamente y aplanar la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original, procurando que el diámetro sea aproximadamente de 4 a 8 veces el espesor.
- Con la varilla metálica se divide diametralmente el material en cuatro partes iguales, de manera que toman dos cuartos diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino con ayuda de las brochas y el badilejo.
- Los dos cuartos restantes se remezcla y se repite sucesivamente toda la operación anteriormente descrita, hasta obtener la cantidad de muestra de suelo requerida.

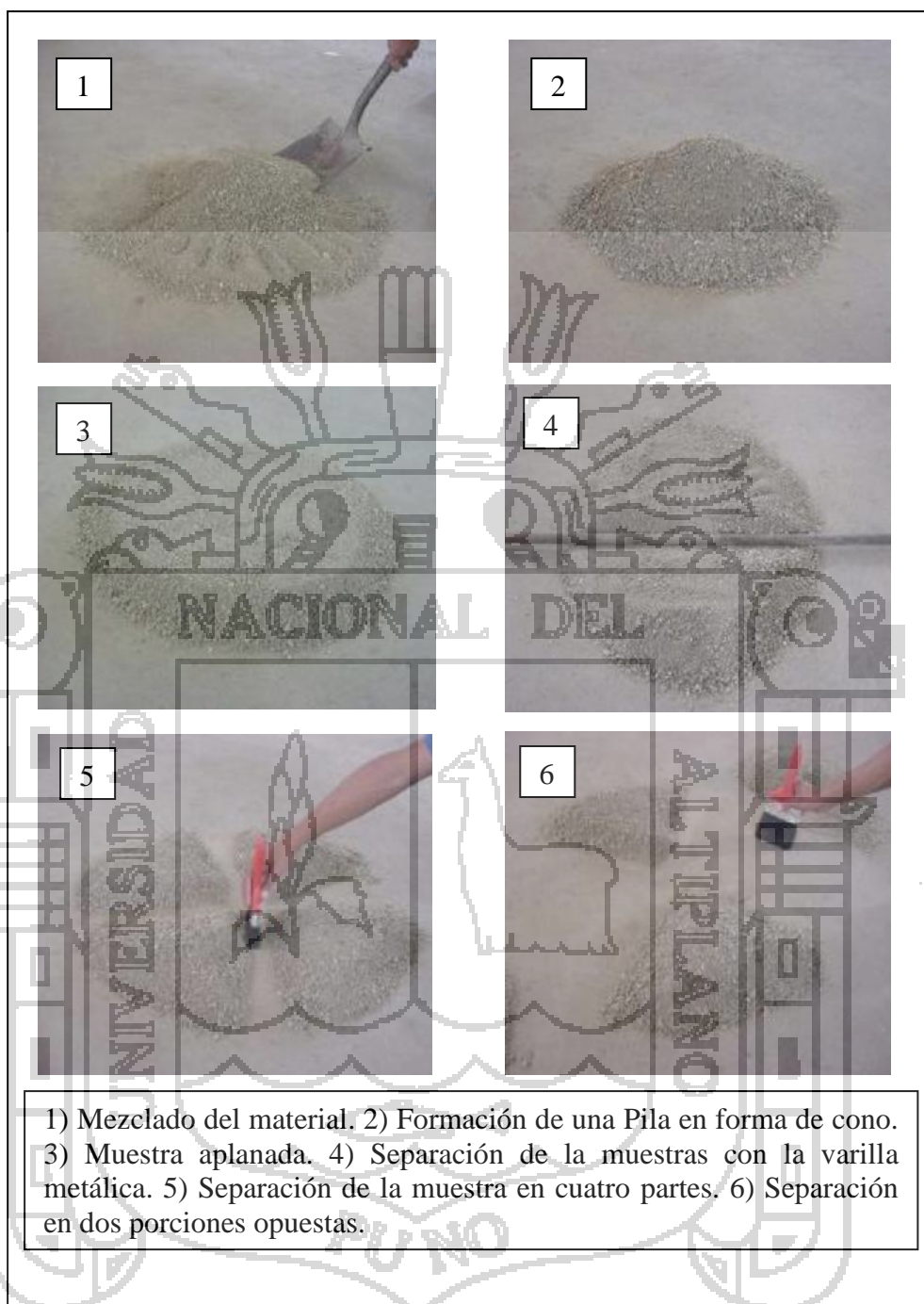


IMAGEN 1: Procedimiento de cuarteo.

## e) Referencias

- MTC E105-99
- ASTM C702-93
- NTP 339.136: 1998

### 2.1.8.2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

#### a) Generalidades

Siendo el suelo un medio poroso, se distinguen tres fases constituyentes: la fase sólida conformada por partículas minerales u orgánicas, la fase líquida conformada por agua que llena parcial o totalmente los vacíos y la fase gaseosa conformada esencialmente por aire. A partir de estas fases del suelo, es posible determinar fácilmente en laboratorio el peso de las muestras húmedas y secas al horno, parámetros que nos permiten establecer algunas relaciones físicas como es el cálculo del contenido de humedad de una muestra representativa. En cierto modo este es un valor relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables, por lo que es recomendable realizar este ensayo casi inmediatamente de extraer la muestra para evitar distorsiones significativas en el resultado.

**FIGURA 5: Fases de una muestra de suelo.**



#### b) Objetivo

Determinar el contenido de humedad de una muestra representativa de suelo expresado en porcentaje, que se obtiene de la relación del contenido de agua, con respecto al peso seco en el horno a 110°C., de temperatura.

#### c) Equipo.

- Balanza de tres escalas con sensibilidad de 0.01%.

- Horno eléctrico de 110±5°C.
- Taras metálicas.
- Cuchara metálica.
- Guantes.

**d) Procedimiento**

- Pesar la tara metálica en la cual se depositara una muestra de suelo.
- Pesar la muestra húmeda en la tara con aproximación de 0.01gr. La cantidad de muestra dependerá del tipo de suelo, tal como se muestra en la siguiente tabla 11.

**TABLA 11: Cantidad de muestra para contenido de humedad.**

| Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%) | Tamaño de malla Standard  | Peso mínimo recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a +/- 0.1% | Peso mínimo recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a +/- 1% |
|---|---------------------------|--|--|
| 2mm. o menos                              | ITINTEC 2.00mm. (Nro. 10) | 20gr   | 20gr.  |
| 4.75mm.                                   | ITINTEC 4.75mm. (Nro. 4)  | 100gr  | 20gr   |
| 9.5mm.                                    | ITINTEC 9.51mm. (3/8")    | 500gr  | 50gr   |
| 19.0mm.                                   | ITINTEC 19.00mm. (3/4")   | 2.5Kg.   | 250gr  |
| 37.5mm.                                   | ITINTEC 38.1mm. (1/2")    | 10Kg.  | 1 Kg.  |
| 75.0mm.                                   | ITINTEC 76.1mm. (3")      | 50Kg.  | 5 Kg.  |

Fuente: Norma ASTM D 2216-98, volumen 04.08 (American Society for testing and Materials)

- La muestra en el recipiente, colocarla en el horno a una temperatura de 110±5°C por un tiempo de 24 horas aproximadamente, para posteriormente dejarla enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar la muestra seca incluyendo el recipiente hasta verificar un peso constante.

**e) Cálculo y Resultados**

Se calcula el contenido de humedad de la muestra con la ecuación:

$$w\% = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2 - P_3} \times 100$$

Donde:

w% : Contenido de humedad expresado en %.



$P_1$  : Peso de la tara más el suelo húmedo.

$P_2$  : Peso de la tara más el suelo seco al horno.

$P_3$  : Peso de la tara.

#### f) Referencias

- MTC E110-99
- ASTM D2216-92
- NTP 339.127: 1998

#### 2.1.8.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

##### a) Generalidades

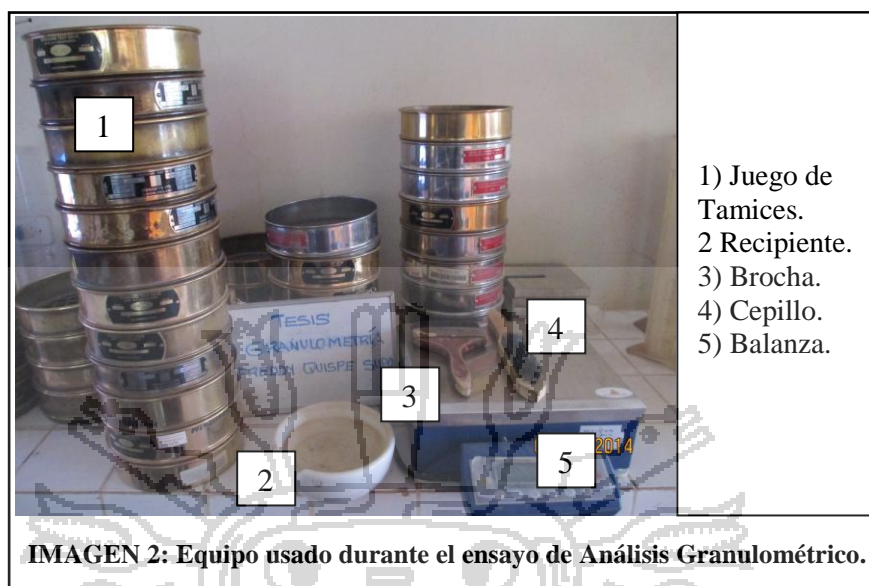
El estudio de las propiedades de los suelos se fundamentó en que las propiedades mecánicas dependen directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños. En la investigación por encontrar métodos para determinar dicha distribución, se pudo concluir que las posibilidades de hallar un método que permitan hallar la granulometría respetando la estructuración del material, es prácticamente imposible; sin embargo en base a la experiencia se pudo establecer dos métodos para establecer el análisis granulométrico de un suelo: el método mecánico o seco para suelos de grano grueso y el método del hidrómetro o vía húmeda para suelos de grano fino.

##### b) Objetivo

Determinar la distribución de las partículas en función de su tamaño de una muestra representativa de suelo de grano grueso, mediante un ensayo granulométrico por tamizado.

##### c) Equipo

- Juego completo de tamices con tapa y fondo.
- Balanza con sensibilidad de 0.01%.
- Balanza de 3 escalas con sensibilidad de 0.1%.
- Horno eléctrico de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Cepillo de alambre fino.
- Martillo de goma.
- Bandejas de losa o aluminio.
- Recipiente con agua limpia.



#### d) Procedimiento

- Cuartear la muestra seca, pesarla y registrarla como peso total de la muestra seca.
- Depositar la muestra en el recipiente con agua y removerla a fin de disolver la arcilla contenida y lavar en agua limpia a través del tamiz N° 200, repitiendo esta operación hasta que el agua se observe clara.
- Secar de 18 a 24 horas la muestra, en el horno a una temperatura de 105°C.
- 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.

#### e) Cálculo y Resultados

- La diferencia entre el peso inicial de la muestra seca y la suma de los pesos retenido hasta la malla N° 200, es el peso que pasa por la malla N° 200.
- Se determinan los porcentajes parciales y acumulados en peso del material contenido en cada tamiz, con respecto al peso inicial de la muestra seca.

- Se calcula el porcentaje en peso del material seco que pasa un determinado tamiz, restando de 100% el porcentaje en peso del material seco acumulado.
- Anotar los resultados en la hoja de cálculo y graficar las curvas granulométricas; abertura de cada tamiz vs porcentaje que pasa.

#### f) Referencias

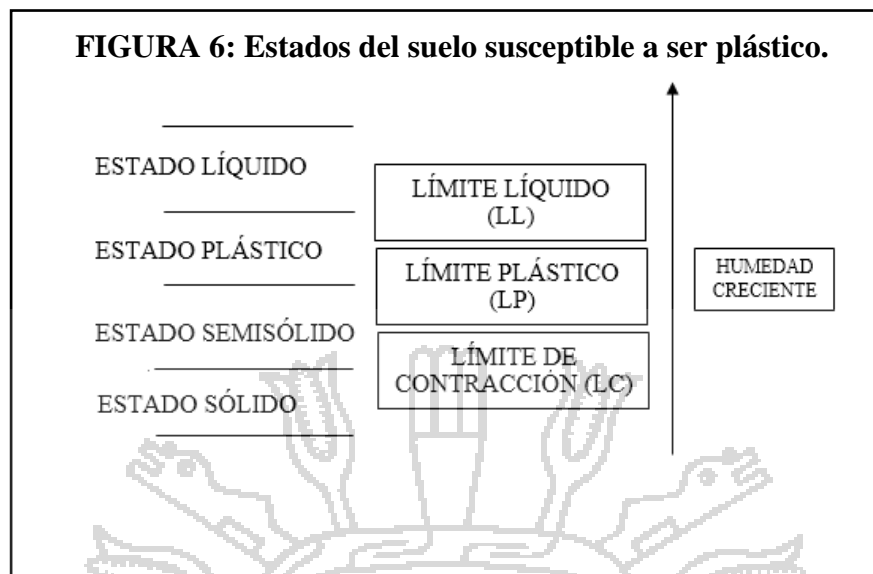
- MTC E107-99
- ASTM D422.
- AASHTO T88.
- NTP 339.128:1999

#### 2.1.8.2.4. LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA

##### Generalidades

En la mayoría de los suelos existentes cuando estos se moldean sin romperse hasta cierto límite al alterar su contenido de agua, si es necesario, adoptan una consistencia característica denominada plástica, para determinar la plasticidad o capacidad de ser moldeable de estos suelos, existe el criterio planteado por Atterberg el cual demostró que la plasticidad no era una propiedad permanente de un suelo, si no circunstancial y dependiente de su contenido de agua y cantidad de arcilla ya que, esta última es la que actúa como ligante. Atterberg estableció que según su contenido de agua existente en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico, puede estar en cualquiera de los estados siguientes:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en que el suelo tiene apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.



Dado que estos estados, son fases generales por las que pasa un suelo al ir secando y dado que no existen criterios estrictos para poder distinguir sus fronteras, Atterberg definió a estas fronteras en función al contenido de humedad, llamando a la frontera entre los estados líquido y plástico como límite líquido; a la frontera entre los estados plástico y semisólido como límite plástico y a la frontera entre los estados semisólido y sólido como límite de contracción (tal como se puede ver en la figura 6) y determino que el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente, se encuentra definida por una relación numérica al cual le denominó como índice de plasticidad.

#### 2.1.8.2.4.1. LÍMITE LÍQUIDO

##### a) Objetivo

Este ensayo propuesto por Terzaghi y Casa grande, permite obtener el contenido de agua en una muestra de suelo, expresado en porcentaje con respecto a la muestra seca al horno cuando, este se encuentra en el límite entre los estados plástico y líquido, el contenido de agua existente en este límite se define como la humedad necesaria para que el surco separado en dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de  $\frac{1}{2}$ " cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1 cm. y a una velocidad de 2 golpes por segundo.

**b) Equipo**

- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01gr.)
- Pocillo de porcelana y espátulas.
- Copa de Casagrande y acanalador.
- Tamiz N° 40.
- Pipeta (cuenta gotas).
- Capsulas metálicas (taras).

**c) Procedimiento**

- Se cierne la muestra seca a través de la malla N° 40 hasta obtener 150 gr. aproximadamente y descartar el material retenido en él.
- Mezclar el material en el pocillo de porcelana con agua hasta la consistencia de una pasta espesa y suave. Cubrirlo con un paño y dejarlo reposar una hora.
- Colocar el material desde el pocillo 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.
- Girar la manivela a razón de 2 vueltas por segundo y anotar los golpes necesarios para que las paredes de la ranura se unan en el fondo de la misma  $\frac{1}{2}$ ".
- Con la espátula se toma la porción del suelo próximo a las paredes de la ranura donde se cerró la muestra y se determina su contenido de humedad existente.
- Se transfiere el suelo sobrante en la cuchara de bronce al recipiente para remezclarlo.
- Se lava y seca la cuchara de bronce, preparando nuevamente el aparato para realizar por lo menos dos determinaciones adicionales.

#### d) Cálculo y resultados

- Calcular el contenido de humedad del suelo de cada muestra.
- En un gráfico semi-logarítmico tabular el contenido de humedad como ordenada en escala natural y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. La línea de fluidez es la recta que promedia los cuatro puntos obtenidos en el ensayo.
- El límite líquido es la humedad existente para lo cual la hendidura se cierra en 25 golpes.

#### e) Referencias

- MTC E110-99
- ASTM D423
- AASHTO T89
- NTP 339.129:1999

#### 2.1.8.2.4.2. LÍMITE PLÁSTICO

##### a) Objetivo

Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plástico y semisólido, el contenido de agua en este límite se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo puede ser rollado en hilo de 3.2 mm., sin que se rompa en pedazos.

**b) Equipo**

- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01gr.)
- Horno eléctrico de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Placa de vidrio esmerilado.
- Capsulas metálicas (taras).

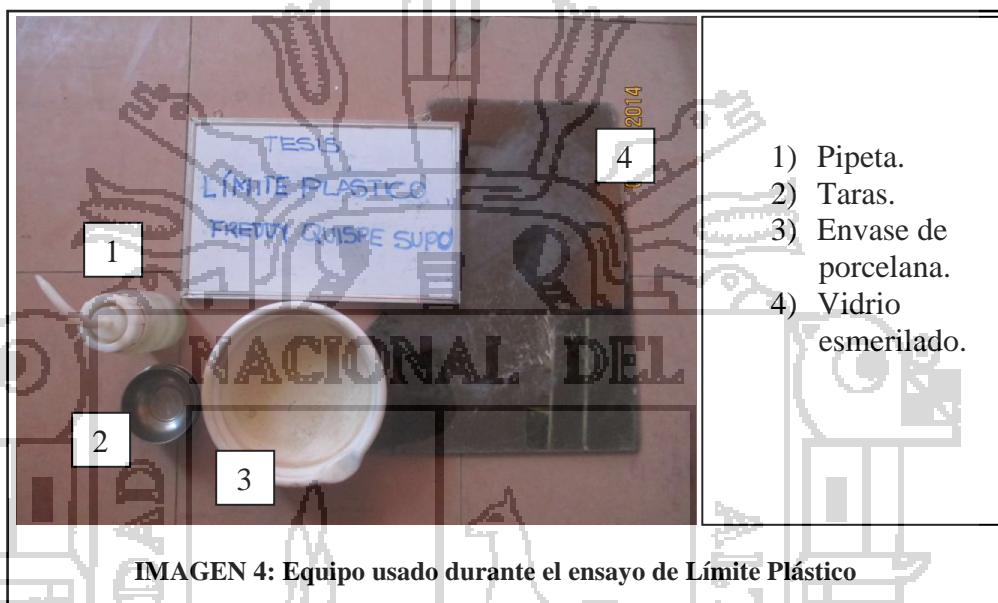


IMAGEN 4: Equipo usado durante el ensayo de Límite Plástico

**c) Procedimiento**

- Se emplea material usado para el límite líquido, verificando una consistencia tal que pueda ser rolando entre los dedos de la mano y el vidrio esmerilado.
- 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.
- Se inicia el rolando, a razón de 80 a 90 ciclos por minuto, un ciclo es un movimiento de la mano hacia adelante y hacia atrás de la posición de arranque.
- El límite plástico (humedad), se obtiene al formar bastones de 3.2 mm. de diámetro, en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales.

**d) Cálculos**

Realizar un mínimo de dos pruebas y determinar su contenido de humedad, conforme al procedimiento señalado anteriormente, hallar un promedio de ambas con lo cual se habrá obtenido el límite plástico de un ensayo.

**e) Referencias**

- MTC E111-99.

- ASTM D424.
- AASHTO T90.
- NTP 339.129:1999

#### 2.1.8.2.4.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Se denomina índice de plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido del límite líquido y límite plástico de una muestra de suelo; es el índice de consistencia más importante, dado que su valor permite conocer cuán plástico es un material. Matemáticamente está representada por la siguiente relación:

$$IP = LL - LP$$

Dónde: IP = Índice de Plasticidad.

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.

- Cuando no es posible determinar el límite plástico de un suelo, se dice que el suelo es no plástico.
- Cuando el índice plástico es menor a 7, el suelo presenta baja plasticidad.
- Cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17, el suelo es medianamente plástico.
- Cuando presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

Es decir, cuanto mayor es el índice de plasticidad, mayores son los problemas asociados con el uso del suelo en materia de ingeniería.

#### 2.1.8.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

##### 2.1.8.2.5.1. GENERALIDADES

Dada la múltiple variedad y complejidad que los suelos presentan en la naturaleza, la mecánica de los suelos desarrollo sistemas de clasificación que permitan cubrir las necesidades correspondientes basadas en las propiedades mecánicas de los suelos por ser estas preponderantemente cualitativas, puesto que sistemas que incluyan relaciones cuantitativas y detalle respecto a las propiedades mecánicas, resultaría excesivamente complicado y de engorrosa aplicación práctica.

Un sistema útil de clasificación, normalmente sirve para normar el criterio del técnico de laboratorio con respecto al suelo de que se esté tratando, previamente a un conocimiento más



profundo y extenso de las propiedades del mismo. Entre los sistemas de clasificación propuesto de mayor aceptación en el campo de la ingeniería destacan el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), dado que son los que mejor satisfacen los diferentes campos de aplicación de la mecánica de suelos.

#### **2.1.8.2.5.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO**

El sistema de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) es uno de los más utilizados actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras.

De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8.

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

La tabla 12, muestra la distribución que hace el sistema. Divide los materiales en siete grupos principales con varios subgrupos. La tabla 12 muestra el análisis según mallas así como el límite líquido e índice de plasticidad de las fracciones que pasan la malla N° 40

**TABLA 12: Clasificación de suelos por el método AASHTO**

| Clasificación general  | Material granular<br>(35%, o menos pasa el tamiz N° 200) |                         |                        |                    |                   |                   |                  | Materiales limo- arcillosos<br>(Más del 35% pasa el tamiz N° 200) |                   |  |
|--|--|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---|-------------------|--|
|  | A-1  |                         | A-3                    | A-2                |                   | A-4               | A-5              | A-6   | A-7               |  |
| Subgrupo   | A-1a   | A-1b                    | A-3                    | A-2-4              | A-2-5             | A-2-6             | A-2-7            | A-6   | A-7-5<br>A-7-6    |  |
| Porcentaje que pasa el tamiz:<br>N° 10 (2.00mm)<br>N°40 (0.425mm)<br>N° 200 (0.075mm)                      | 50 máx.<br>30 máx.<br>15 máx.                            | -<br>50 máx.<br>25 máx. | -<br>51 min<br>10 máx. | -<br>35 máx.       | -<br>35 máx.      | -<br>35 máx.      | -<br>35 máx.     | -<br>36 min   | -<br>36 min       |  |
| Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm):<br>Límite líquido<br>Índice de plasticidad | -<br>6 máx.  | -                       | -<br>NP                | 40 máx.<br>10 máx. | 41 min<br>10 máx. | 40 máx.<br>11 min | 41 min<br>11 min | 40 máx.<br>11 min   | 41 min<br>11 min* |  |
| Terreno de Fundación   | Excelente a bueno  |                         | Excelente a bueno      | Excelente a bueno  |                   |                   | Regular a malo   |   |                   |  |

\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

Fuente: Montejo, A. 2008, p.46

### Descripción General de los Subgrupos<sup>2</sup>

- Los suelos clasificados desde un A-1 hasta el A-3 son granulares, que contienen una cantidad no mayor del 35% de material que pasa la malla N° 200.
- Los suelos A-1 son materiales típicamente bien gradados, conformados por arena gruesa, arena fina y un material aglutinante que tiene poca o ninguna plasticidad. El subgrupo A-1a, que puede contener apreciable cantidad de grava es un material de gradación más gruesa que el A-1b, que es predominantemente arena gruesa.
- El grupo A-2 es también granular pero con apreciable cantidad de material aglutinante. Este material está en la frontera entre los materiales que caen en los grupos A-1 y A-3 y los materiales limo-arcillosos de los grupos A-4 a A-7. Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales en los que no más del 35% es más fino que la malla N° 200 y que tienen las características de plasticidad de los grupos A-4 y A-5. Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 son semejantes a los A-2-4 y A-2-5 excepto que las características de plasticidad de la porción bajo la malla N° 40 son las de los grupos A-6 y A-7.
- El suelo A-3 es fino, arena relativamente uniforme, típicamente una arena fina de playa o eólica del desierto. Este grupo también puede incluir mezclas de arena fina aluviales pobremente gradadas, con algo de arena y grava. Son no plásticas (NP).
- Los suelos A-4 están compuestos predominantemente por limo con solo moderadas cantidades de material grueso y poca cantidad de arcilla pegajosa y coloidal, contienen más de 35% de material que pasa la malla N° 200. Este tipo de suelo se encuentra frecuentemente en la superficie terrestre y proporciona un terreno firme para la circulación cuando están secos. Los suelos A-5 son similares a los A-4, con excepción que incluyen suelos de gradación muy mala y contiene materiales tales como mica y diatomeas que son productores de propiedades elásticas y estabilidades muy bajas.
- Los suelos A-6 se componen predominantemente de arcilla con contenidos moderados de materiales gruesos y son materiales compresibles.
- Los suelos A-7 son similares a los A-6 pero debido a las partículas de limo son elásticas. Los suelos A-7-5 tienen índices de plasticidad moderados y los suelos A-7-6 comprenden índices de plasticidad altos.

---

<sup>2</sup> Universidad Técnica Particular de Loja, Estudio de los Suelos para Obras Viales - Clasificación de Suelos Sistema AASHTO (D-3282).

### 2.1.8.2.5.3. SISTEMA UNIFICADA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

Este sistema de clasificación fue originalmente desarrollado por su uso en la construcción de aeropuertos, y fue adaptado y divulgado por el Dr. Arthur Casagrande en 1948. Había estado ya en uso desde 1942, pero fue aproximadamente en 1952 en cooperación con la oficina de mejoramiento de terrenos de los EE.UU. para darle mayor aplicabilidad y cobertura de otro tipo de construcciones con fines ingenieriles. Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupamiento con relación a su comportamiento como materiales de construcción de ingeniería.

Las principales características de los criterios propuestos que presenta, este sistema de clasificación de suelos son las que se nombran a continuación:

- Se establecen cuatro fracciones de suelo: cantos rodados, gravas, arena y finos (limo o arcilla).
- Los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla N° 200, ya sean retenidos o que pasan respectivamente.
- Un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidos en la malla N° 200, y finos si más del 50% de sus partículas son menores de dicha malla.
- Los suelos están separados en tres divisiones: suelo de grano grueso, suelo de grano fino y suelos altamente orgánicos
- Los suelos de grano grueso se dividen en gravas “G” (gravel) y arenas “S” (sand). Las gravas son aquellos suelos que tienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4 y las arenas son aquellas que su porción mayor pasan por el tamiz N° 4.
- Los suelos se designan por símbolo de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos: grava (G), arena (S), limo (M), arcilla (C), orgánico (O) y turba (Pt).
- Los sufijos indican sub divisiones en dichos grupos: bien gradado (W), pobremente gradado (P), limoso (M), arcilloso (C), LL menor a 50% (L) y LL mayor a 50% (H).
- Las gravas G y las arenas S, se subdividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM, y GC y SW, SP, SM, y SC respectivamente, según la cantidad y tipos de los finos y forma de la curva granulométrica.

- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded), en combinación con los símbolos genéricos da lugar a los grupos GW y SW.
- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded), en combinación con los símbolos genéricos da lugar a los grupos GP y SP.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo M (mo y mjala), en combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay), en combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.
- Los suelos de grano fino se dividen en limos orgánicos (M), arcilla inorgánica (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos tipos de suelo se subdividen, según su límite líquido en dos grupos.
- Si el límite líquido es menor de 50% es decir, si son suelos de compresibilidad baja, se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL.
- Los suelos finos con límite líquido mayor de 50% es decir de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compresibility), obteniéndose así los grupos MH, CH y OH.
- Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy compresibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifica dentro del grupo designado por el símbolo PT.

La tabla 13, de clasificación correspondiente al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) que se presenta a continuación, ilustra que solo la granulometría y los límites de Atterberg son requisitos necesarios para clasificar un suelo. Si menos del 12% pasa la malla N° 200, es necesario determinar el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de concavidad (Cc) para establecer si el suelo es bien o pobremente graduado. Si más de un 12% pasa la malla N° 200, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de concavidad (Cc) no tiene significación alguna y solo es necesario determinar los límites de Atterberg para poder clasificar un suelo.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Universidad Técnica Particular de Loja-Estudio de los Suelos para Obras Viales, 2009.



TABLA 13: Sistema unificado de clasificación de suelos.

| DIVISIÓN MAYOR   |  | SÍMBOLO   | NOMBRES TÍPICOS   | CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO   |  |  |
|--|--|---|---|---|--|--|
| <b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b><br>Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 | <b>GRAVAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4<br><br>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4                                   | GRAVAS LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas  | GW  | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos  | Coeficiente de uniformidad Cu: mayor de 4.<br>Coeficiente de curvatura Cc: entre 1 y 3.<br>$Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ |  |
|  |  |   | GP  | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos   |  | NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.  |
|  |  | <b>GRAVA CON FINOS</b><br>Cantidad apreciable de partículas finas   | *    d<br>u   | GM  | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo   | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.<br><br>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
|  |  |   |   | GC  | Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla  |  |
|  |  | <b>ARENAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4<br><br>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4 | <b>ARENA LIMPIA</b><br>Poco o nada de partículas finas                                | SW  | Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.   | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.<br><br>$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.                     |
|  |  |   |   | SP  | Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.  |  |
|  | <b>ARENA CON FINOS</b><br>Cantidad apreciable de partículas finas  |   | *    d<br>u   | SM  | Arenas limosas, mezclas de arena y limo.   | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.<br><br>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
|  |  | SC  |   | Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.  |  |  |
|  | <b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b><br>Más de la mitad del material pasa por la malla número 200<br><br>Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista. | <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido Menor de 50   | ML  | Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.  | G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo<br>C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L –                                 |  |
|  |  |   | CL  | Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. |  |  |
|  |  |   | OL  | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.   |  |  |
|  |  | <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido Mayor de 50   | MH  | Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.   |  | <b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b><br>   |
| CH   |  |   | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.                           |   |  |  |
| OH   |  |   | Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad. |   |  |  |
| <b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>  |  | P   | Turbas y otros suelos altamente orgánicos.  |   |  |  |

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

\* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: Montejo, A. 2008, p.46



**TABLA 14: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) A.S.T.M. D 2487-93**

| DIVISIÓN MAYOR   |  | SÍMBOLO  | NOMBRES TÍPICOS                                | CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO  |   |  |  |
|--|--|--|--|--|---|--|--|
| <b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b><br>Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 | <b>GRAVAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4<br><br>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4 | GRAVAS LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas                               | GW   | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos                 | Dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa por la malla N°200), los suelos gruesos se clasifican como: menos de 5% son GW, GP, SP, más de 12% son GM, GC, SM, SC; de 5% a 12% son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles (nunca puede ser GW-GP o SW-SP) | Coeficiente de uniformidad Cu: mayor de 4.<br>Coeficiente de curvatura Cc: entre 1 y 3.<br>$Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ |  |
|  |  | GRAVA CON FINOS<br>Cantidad apreciable de partículas finas                     | GP   | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos                  |   | NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.  |  |
|  |  | ARENA LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas                                | GM   | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo   |   | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.   | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
|  |  | ARENA CON FINOS<br>Cantidad apreciable de partículas finas                     | GC   | Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla                                    |   | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.  | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
|  |  | <b>ARENAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 | SW   | Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.                       |   | $Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / D_{10}(D_{60})$ entre 1 y 3.  |  |
|  |  |  | SP   | Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.                        |   | No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW   |  |
|  | <b>ARENAS CON FINOS</b><br>Cantidad apreciable de partículas finas   | SM   | Arenas limosas, mezclas de arena y limo.       | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.                           |   | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.   |  |
|  |  | SC   | Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.                        |   |  |  |
|  |  | <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido Mayor de 50                          | ML   | Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.     |   |  |  |
|  |  |  | CL   | Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arenosas o limosas |   |  |  |
|  |  |  | OL   | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.                        |   |  |  |
|  |  | <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido Menor de 50                          | MH   | Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos  |   |  |  |
| CH   | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.  |  |  |  |   |  |  |
| OH   | Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.  |  |  |  |   |  |  |
| <b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>  | Pt   | Turbas y otros suelos altamente orgánicos.                                     |  |  |   |  |  |

**Fuente:** Departamento de Geotécnia, Instituto de Estructuras y Transporte-Tablas y Ábacos, Curso de Geología de Ingeniería e Introducción a la Mecánica de Suelos, 2008.

## PRÓCTOR MODIFICADO

### a) Generalidades

Se llama compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, esfuerzo-deformación y disminuir la compresibilidad de las mismas; por lo general el proceso implica una reducción de los vacíos, como consecuencia de la cual, en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia, ligados a pérdida de volumen de aire, a fin de aumentar la densidad específica seca. En 1933 R. Próctor propuso un método que permite reproducir en laboratorio, resultados que se debe obtener en obra, y que consiste en aplicar a un suelo cierta energía para compactarlo, con la que el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva en la cual se puede determinar para un cierto grado de humedad, el peso volumétrico seco máximo de ese suelo y esa energía de compactación.

### b) Objetivo

Mediante un molde de volumen dado y un peso de 10 lb. Que cae libremente desde una altura de 18", determinar un contenido óptimo de humedad para el cual se alcanza la Máxima Densidad Seca a una determinada energía de compactación.

Existen tres alternativas de ensayos en función al molde y número de golpes y solo se procede a realizar alguno de ellos, siempre y cuando se cumpla en el ensayo granulométrico de una muestra, que el 30% en peso sea retenido en la malla de  $\frac{3}{4}$ ".

#### Método A:

- Si el 20% o menos del material es retenido en la malla N° 4.
- Usar el material que pasa la malla N 4.
- En el molde de 4" (1/30 pie<sup>3</sup>), 5 capas y 25 golpes/capa.

#### Método B:

- Si el 20% o menos del material es retenido en la malla de  $\frac{3}{8}$ " y más del 20% del material es retenido en la malla N° 4.
- Usar el material que pasa la malla de  $\frac{3}{8}$ ".
- Usar el molde de 4" (1/30 pie<sup>3</sup>), 5 capas y 25 golpes/capa.



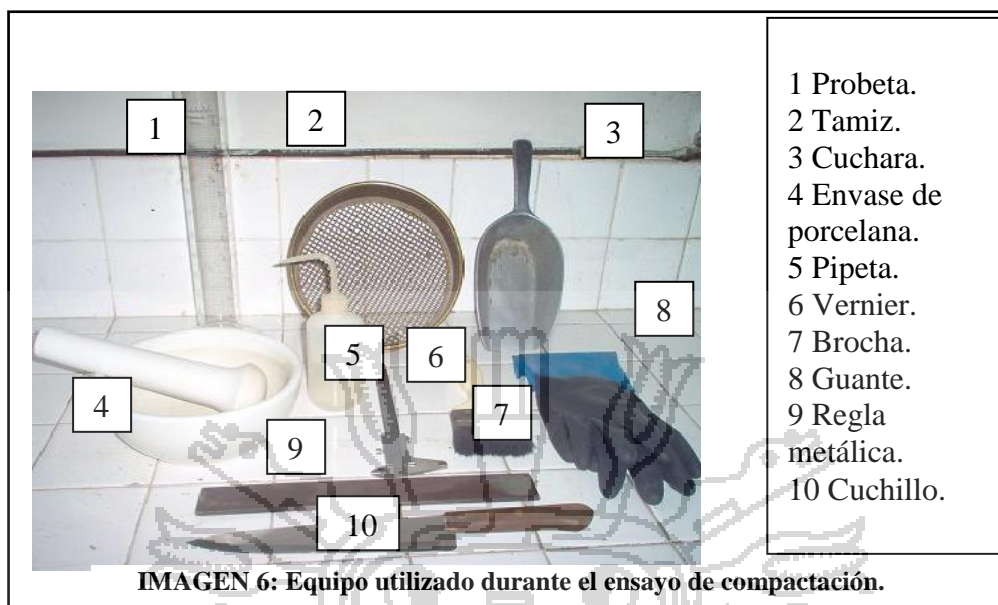
**Método C:**

- Si menos del 30% del material es retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ " y más del 20% es retenido en la malla de  $\frac{3}{8}$ ".
- Usar el material que pasa la malla de  $\frac{3}{4}$ ".
- Usar moldes de 6" ( $1/13.33$  pie<sup>3</sup>), 5 capas y 56 golpes por capa.
- 

**c) Equipo**

- Tamices de 2",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N° 4.
- Martillo de goma.
- Brocha y badilejo.
- Molde cilíndrico de próctor modificado.
- Pisón de 10 lb de peso.
- Horno eléctrico de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Balanza de tres escalas.
- Balanza de 20 kg de capacidad.
- Balanza de tres escalas con sensibilidad de 0.01%.
- Regla metálica.
- Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.
- Bandeja metálica grande y cucharon metálico.
- Capsulas metálicas (taras).





#### d) Procedimiento

- Se requiere de 40 kg en promedio de material de ensayo, el cual debe ser secado preferiblemente al aire para un mejor manejo y luego disgregar los terrones de material con el martillo de goma para no alterar sus propiedades mecánicas.
- Tamizar el material por las mallas 2",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N° 4, descartando el material retenido en la malla de 2"
- De acuerdo al ensayo previo de granulometría, seleccionar el método de ensayo a practicar y preparar cuatro puntos de ensayo en peso del material a utilizar. Si es el método "A" o "B" se tomará 2.50 kg y si es el método "C" será 6.00 kg.
- Colocar el material de un punto en la bandeja y adicionar el 2% o 4% de agua según se estime por conveniente y 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 (con extensión) de ensayo correspondiente, 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 eléctrico 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.

### e) Cálculos

Se calcula la densidad seca de cada uno de los especímenes, con la siguiente relación:

$$D_s = \frac{D_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

Ds: Densidad seca.

w: Contenido de humedad de la muestra.

Dh: Densidad húmeda de la muestra.

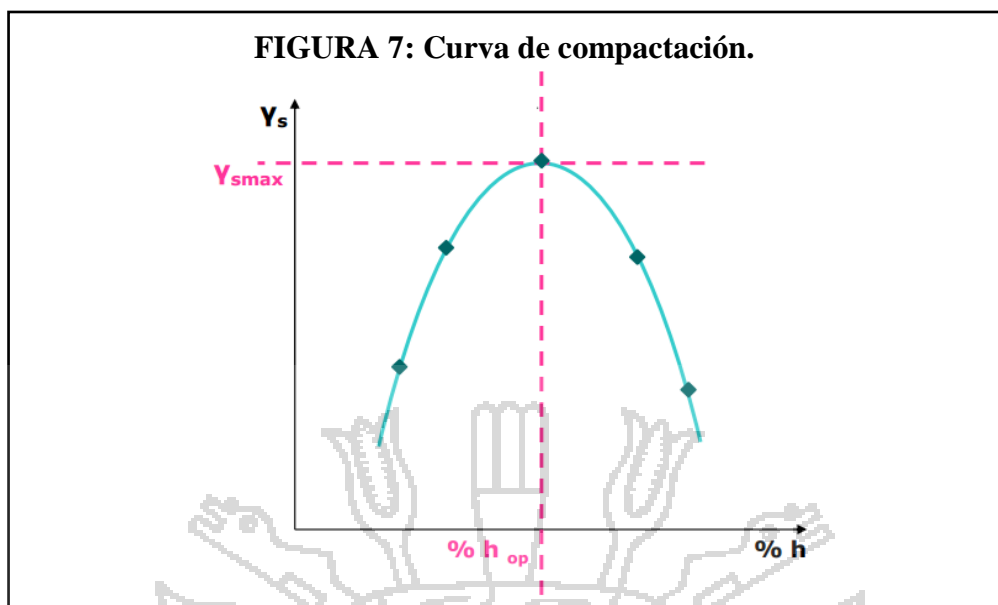
$$D_h = \frac{(P_1 - P_2)}{V}$$

P1: Peso de la muestra húmeda más molde.

P2: Peso del molde.

V: Volumen del molde.

- Con los datos obtenidos de contenido de humedad y densidad seca de cada uno de los especímenes compactados, son graficados los puntos en escala natural, donde el eje vertical representa la densidad seca y el eje horizontal representa el contenido de humedad.
- Trazar una curva que conecte los puntos graficados y por el punto máximo de la curva obtenida, trazar una recta horizontal y vertical, obteniendo la máxima densidad seca para una determinada humedad.



#### f) Referencias

- ASSHTO T91.
- ASTM D1557-91.
- NTP 339.141: 1999.

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

##### a) Generalidades

Ensayo conocido como CBR, que son las iniciales en inglés (California Bearing Ratio) del método empírico desarrollado por los ingenieros T. E. Staton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras de California para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo (patrón) de piedra triturada. Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados. El CBR que se usa para proyectar es el valor que se obtiene para una penetración de 0.1" o de 0.2". El CBR de un suelo varía con su compactación, su contenido de humedad al compactar y el contenido de humedad cuando se ensaya.

El valor CBR es una relación que compara la capacidad portante de un material con el que corresponde a piedra triturada bien graduada.

El CBR para humedad óptima es la variante más popular y es conocida también como «CBR de tres puntos». Consiste en elaborar tres especímenes compactando el suelo con energías de compactación de 12, 25 y 56 golpes por capa.

Esto nos da un porcentaje: si nuestro terreno compactado con X golpes nos aguanta 600 PSI (hemos necesitado aplicarle esa presión para que se hundiese 0.25 mm) y el terreno ideal aguanta 1000 PSI, nuestra muestra de terreno tiene un índice CBR del 60%.

Finalmente, tomamos los 3 índices CBR obtenidos para los diferentes moldes (con diferentes compactaciones), medimos sus densidades, y trazamos una gráfica densidad-índice CBR. Como sabemos por el PROCTOR cuál es la densidad que realmente alcanzaremos en obra, solo resta mirar, para esa "densidad objetivo" qué índice CBR nos da la gráfica.

Ese es el índice CBR que tendrá nuestro material una vez colocado en la carretera, humedecido con la humedad óptima, y compactado (apisonado) correctamente.

El ensayo CBR permite aplicar varias normativas (ASTM, UNE, NLT y las normas Mexicana, Chilena, Colombiana y Peruana). Aunque los cálculos que se realizan son básicamente los mismos (la norma ASTM es la base de todas las demás normas), existen pequeñas diferencias que pasamos a comentar.

Las normas actualmente disponibles para el ensayo CBR son estas:

- NLT 111/87 (Norma Española antigua).
- UNE 103.502:1995 (Norma Europea actual).
- ASTM D1883-07 (Norma U.S.A. "original").
- M-MMP-1-11-08 (Norma Mexicana).
- INV E-148-07 (Norma Colombiana).
- NCh1852.Of81 (Norma Chilena, para una sola probeta).
- MTC E 132 - 2000N (Norma Peruana, para una sola probeta).

Veamos las pequeñas diferencias entre ellas punto por punto.

**Número de golpes por capa:**

Es una guía de cuantos golpes por capa (los moldes se van rellenoando en 2 o más capas, según nos indique la norma para cada tipo de uso previsto) habría que darle a un molde, con una maza estandarizada y desde una altura fija, para conseguir una "energía de compactación" equivalente a la utilizada en el ensayo Proctor con el que obtuvimos la densidad máxima, es decir, si le damos 60 golpes "estandar" el molde debería conseguir, aproximadamente, la densidad máxima indicada en el Proctor.

- UNE y NLT: 60 golpes.
- ASTM, México, Colombia, Perú y Chile: 56 golpes.

**TABLA 15: Número de golpes de compactación en las normas actualmente disponibles para el ensayo CBR**

| NORMA                                   | NUMERO DE GOLPES DE COMPACTACIÓN PARA EL ENSAYO DE CBR |    |    |
|---|--|----|----|
|   | NLT 111/87 (Norma Española antigua).                   | 15 | 30 |
| UNE 103.502:1995 (Norma Europea actual) | 15   | 30 | 60 |
| ASTM D1883-07 (Norma U.S.A. "original") | 10   | 25 | 56 |
| NCh1852.(Norma Chilena)                 | 10   | 25 | 56 |
| INV E-148-07 (Norma Colombiana).        | 10   | 25 | 56 |

Fuente: Elaboración propia – recopilación de normas.

**TABLA 16: Número de golpes por capa para la norma: M-MMP-1-11-08 (Norma Mexicana).**

| MATERIAL PARA | ESPÉCIMEN | ENERGÍA ESPECIFICA DE COMPACTACIÓN<br>kg.cm/cm <sup>3</sup> | NUMERO DE GOLPES POR CAPA |                  |
|---------------|-----------|---|---------------------------|------------------|
|               |           |   | PISÓN DE 2.5 kg           | PISÓN DE 4.54 kg |
| Terraplén     | 1         | 6.03  | 56                        | ---              |
|               | 2         | 2.69  | 25                        | ---              |
|               | 3         | 1.08  | 10                        | ---              |
| Suyacente     | 1         | 6.03  | 56                        | ---              |
|               | 2         | 2.69  | 25                        | ---              |
|               | 3         | 1.08  | 10                        | ---              |
| Subrasante    | 1         | 27.42   | -----                     | 56**             |
|               | 2         | 6.03  | 56                        |                  |
|               | 3         | 2.69  | 25                        |                  |

\*\* En el caso de que solo se disponga del pisón de 2.50 kg, al primer espécimen de material para subrasante se le aplicaran 153 golpes por capa con este pisón.

Fuente: M-MMP-1-11/08-Libro MMP - Método de Muestreo y Pruebas de Materiales-Suelos y Materiales para Terracerías, Valor Relativo de Soporte (CBR) y Expansión (Exp) en laboratorio.

También la ASTM D 1883-07-Standard Test Method for California Bearing Ratio of Laboratory-Compacted Soils, indica que deberá variarse el número de golpes por capa según sea necesario para preparar las muestras que tienen pesos unitarios anteriores y por debajo del valor deseado. Típicamente, si el CBR para un suelo al 95% de la unidad seca máxima se desea, utilizamos especímenes compactados con 56, 25, y 10 golpes por capa y se obtienen resultados satisfactorios.

Así mismo en la Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, en la investigación “Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento proveniente de la Mina de Llatcon como elemento estructural para pavimentos flexibles”, 2014. Realizado por el Ing. Juan Pablo Carpio Pesantes-Ecuador, 2014. Indica que:

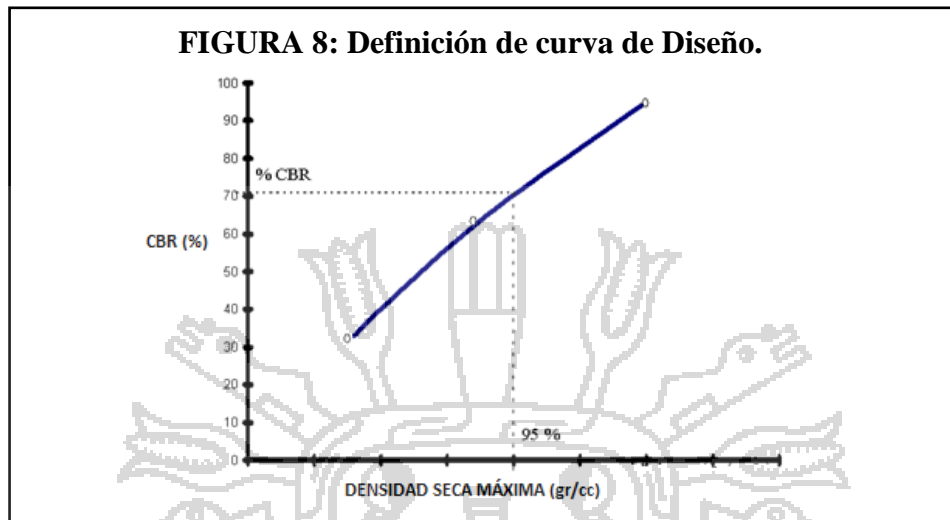
Se preparan tres moldes con 12, 25 y 56 golpes en 5 capas respectivamente, utilizando el martillo del Proctor Modificado. Algunos laboratorios prefieren probar un solo ejemplar que se compacta en 5 capas, con 56 golpes por capa, normado en el ensayo Proctor Modificado, pero para permitir a los diseñadores establecer el CBR de acuerdo a sus necesidades se realizan tres moldes. (Carpio Pesántez, 2014, pag. 25)

En la norma ASTM y, en general, en todas las normas americanas, el número de golpes no es totalmente fijo y se permite usar más o menos golpes si vemos que no conseguimos alcanzar la densidad máxima Proctor, que al fin y al cabo es el objetivo final de darle todos estos golpes (en los cálculos siguientes solo se necesita saber la densidad alcanzada, no cuantos golpes le tuvimos que dar).

Un ejemplo clásico de una curva de compactación es la que produce el estándar ASTM 1883-07 para el ensayo CBR en la conocida variante de “CBR para humedad óptima”, también conocido como CBR de 3 puntos. En esta variante, se fabrican 3 especímenes con energías de 12,25 y 56 golpes por capa con la intención de producir tres niveles bien diferentes de grado de compactación, y luego se ensayan al CBR. (RAMCODES, 2012, s/n)

Diseñar un suelo compactado a partir de una curva de diseño es un procedimiento sencillo. Por ejemplo, se entra con el grado de compactación prefijado, típicamente 95% del Proctor, se corta la curva y se lee la resistencia correspondiente a esos niveles de sobrecarga y saturación del suelo. Luego se verifica que la resistencia así obtenida sea

superior a lo requerido; en cuyo caso se declararía el material de suelo investigado como adecuado para la función pretendida, así como ilustra la siguiente figura 8:



Fuente: Freddy J. SancheLal@ramcodes - CEO RAMCODES, 2012.

Como conclusión se puede decir, que el tener tres puntos a diferentes compactaciones ya sea 12, 25 o 56 golpes u otro número de golpes respectivamente, nos permitirá realizar una curva CBR vs Densidad Seca Máxima (Definición de la curva de Diseño) y nos permitirá obtener el CBR requerido a un determinado porcentaje de la Máxima Densidad Seca.

Para determinar el rango del número de golpes de compactación se toma en cuenta Valores críticos por ejemplo para el número de golpes de 56, 25 y 12 golpes la explicación es la siguiente:

- 56 golpes compactación.- Depende mucho del número de golpes de compactación que se realizó en el ensayo de Proctor Modificado y, este número de golpes será el Máximo y punto crítico.
- 12 golpes de compactación.- Este número de golpes se realiza puesto que no es fácil obtener suelos compactados ya sea con 9 o 10 golpes de compactación por capa, puesto que al momento de realizar el ensayo, este se deshace, por tanto, para obtener una muestra compactada sin que pueda deshacerse se toma como mínimo 12 golpes de compactación y, este también sería un punto crítico, ojo esto puede variar dependiendo del laboratorista, las condiciones del lugar donde se realiza el ensayo y la energía de compactación.



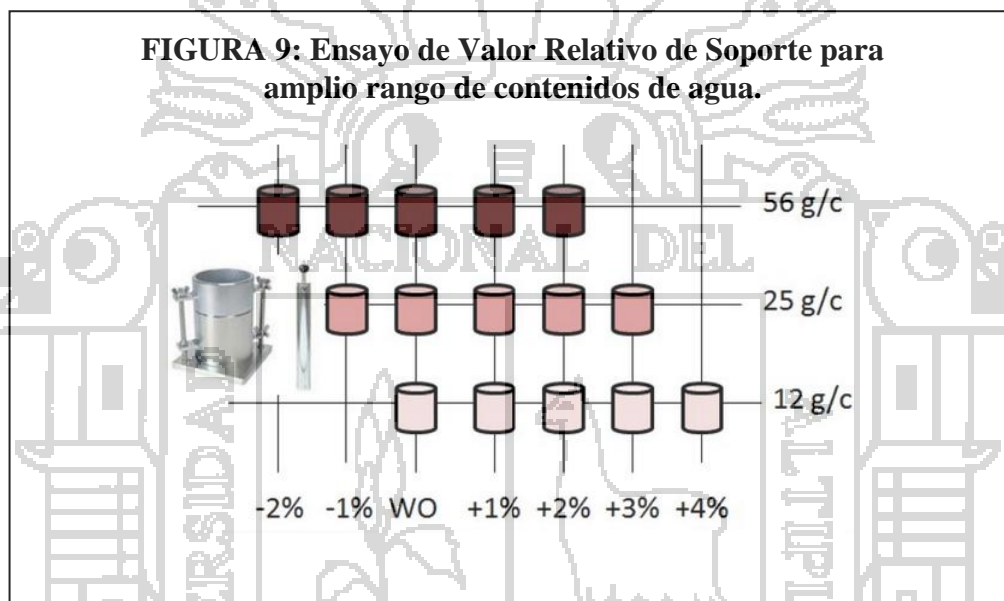
- 25golpes de compactación.- Se toma aproximadamente la mitad del número de golpes de los puntos críticos mayor y menor (en este caso 56 y 12 golpes de compactación).

#### a.1) Variantes del ensayo de Valor Relativo de Soporte (CBR)

Según se desprende de la norma **ASTM D 1883-84**, el ensayo de CBR **posee dos variantes**, a saber: una llamada “**CBR para humedad óptima**”, y la otra llamada “**CBR para un rango de contenidos de agua**”. La variante uno ya se dio a conocer en anteriores ítems.

*La variante dos, es el CBR para un amplio rango de contenidos de agua.* Esta variante es llamada CBR de 15 puntos, **ASTM lo recomienda para suelos susceptibles a la humedad (suelos cohesivos o todos los suelos no limpios**, también El MOP E-126-1 propone este método de ensayo para determinar la capacidad portante de suelos finos con índice de grupo igual o mayor a 6 (Breskid Acosta, 2004)), permite evaluar el efecto no sólo del nivel de densificación en el CBR, sino también del contenido de agua, pues se sabe que ciertos suelos, cuando están secos, presentan resistencias (CBR) más elevadas que cuando están húmedos. Para ensayos en los cuales el resultado se determinará por un rango de contenidos de agua, la ASTM dice que se preparan varios especímenes de suelo compactándolos en un rango de contenidos de agua similares a los que se piensa estará sometido en campo, en el ítem 5.3 de la norma ASTM D 1887-07, dice que el ensayo CBR se podría hacer para un *rango de contenidos de agua* en suelos donde el efecto de la humedad en el CBR sea desconocido o se pretenda evaluar. En este caso, esta alternativa de la norma podría dar lugar a varios valores de CBR para un mismo suelo. Se prepararán una serie de especímenes, cada una a tres energías de compactación, típicamente 12, 25 y 56 golpes por capa. Aunque antes el procedimiento ASTM proponía un método gráfico para definir el CBR, a partir de la versión 2005 de la norma D - 1883 dicho procedimiento fue suprimido luego de la actualización de 2005. Entendiendo que deja libre al laboratorista la interpretación. Las energías de compactación se escogen para producir pesos unitarios encima y abajo del peso unitario deseado. Luego de permitir que los especímenes tomen agua por inmersión, u otro tratamiento especificado como curado, se penetra cada uno. Los resultados se grafican para obtener el CBR de cada espécimen. Se realiza un gráfico de CBR contra peso unitario para cada contenido de agua, a fin de determinar el mínimo CBR para el rango de contenidos de agua requerido.

*Nota: Por cierto que la ASTM en esta revisión del CBR removi6 la interpretaci6n del ensayo de CBR 15 puntos que databa de la d6cada de 1960 y que fue copiada de la norma francesa para evaluaci6n de suelo arcilloso.*

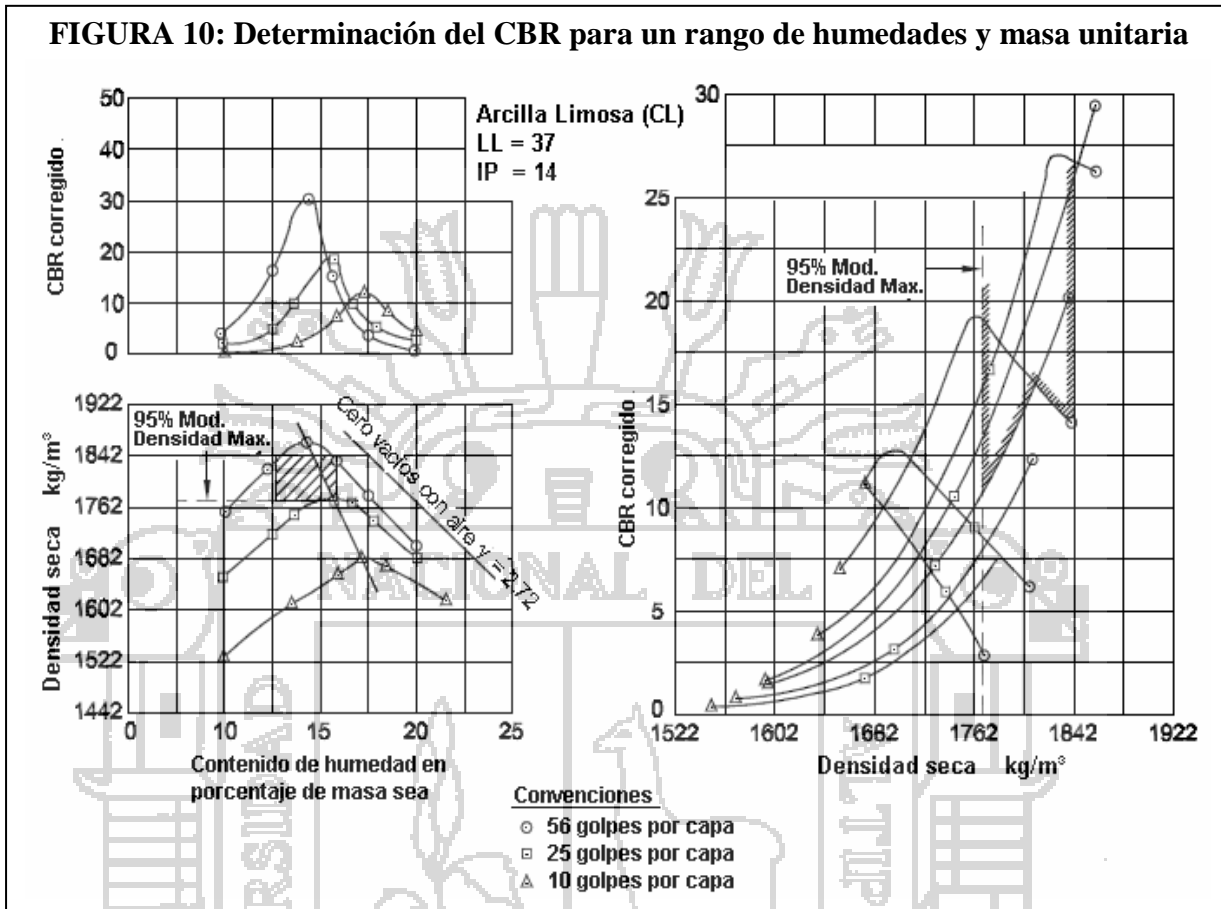


Wo= Humedad Optima (Seg6n Proctor)

### Grado de Saturaci6n (Sr)

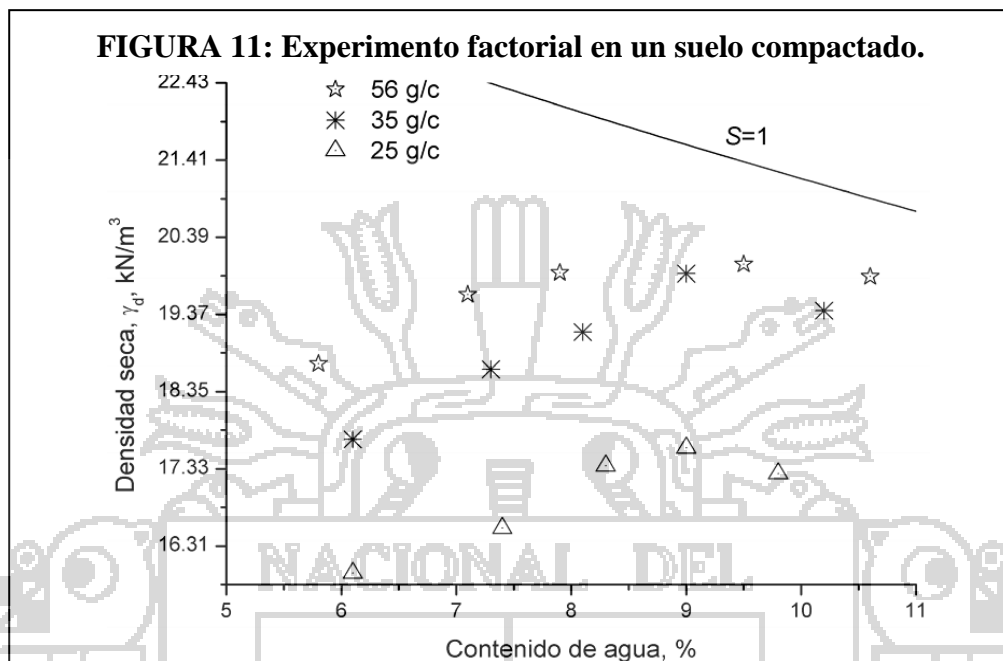
La cantidad de agua en el suelo puede expresarse como una fracci6n del volumen de vac6os; esta fracci6n se conoce con el nombre de grado de saturaci6n.

$$Sr = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen de Vacios}}$$



Fuente: Freddy J. SanchezLal@ramcodes - CEO RAMCODES, 2012.

Esta variante del ensayo de CBR, normalizado por ASTM, para diseñar un experimento factorial, es decir, un experimento donde se varían la densidad y el contenido de agua de mezclado a la misma vez, con la finalidad de evaluar la influencia que esta interacción de variables tiene en la respuesta, en este caso, la resistencia (CBR). Cada combinación de humedad y densidad en el experimento se denomina «tratamiento»; el objetivo es «mapear» una región amplia de densidades y humedades en búsqueda de la optimización de la resistencia.

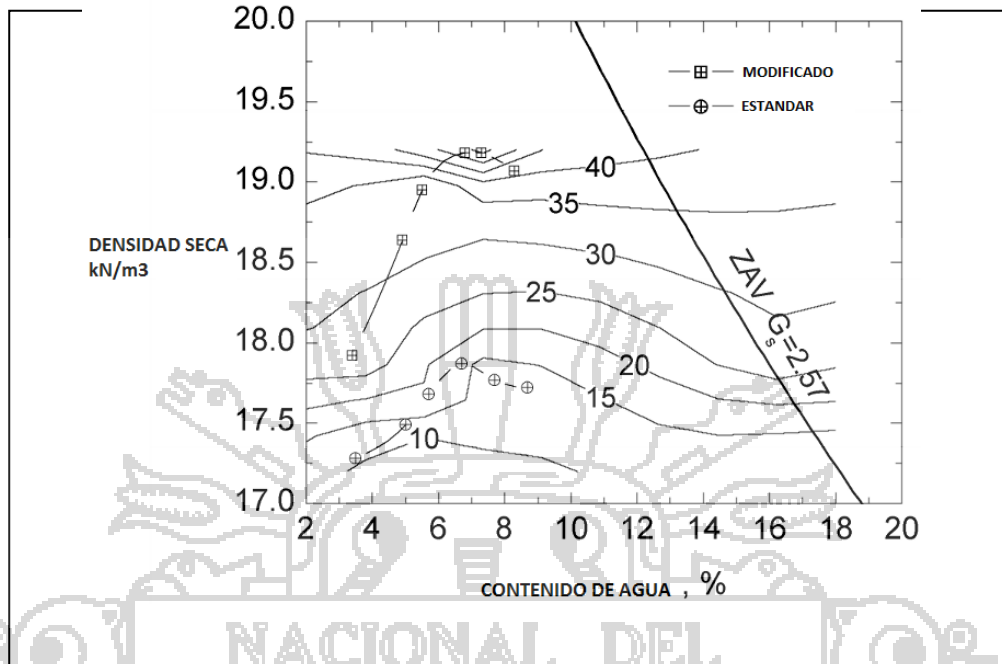


La evaluación de los resultados se realiza por medio de softwares de graficación (Origin, Surfer, AutoCAD, etc.), que permiten trazar gráficos con curvas de nivel que expresan la variación del CBR con la humedad y la densidad, a la vez. A estos gráficos se les conoce como «mapas», y con ellos se pueden definir regiones de aceptación de la compactación de campo, basadas en los requerimientos de CBR según el diseño de la estructura de pavimento.

La realización de mapas de resistencia en múltiples suelos permite establecer que existen tres tipos de tendencias, a saber (Sánchez Leal, 2012):

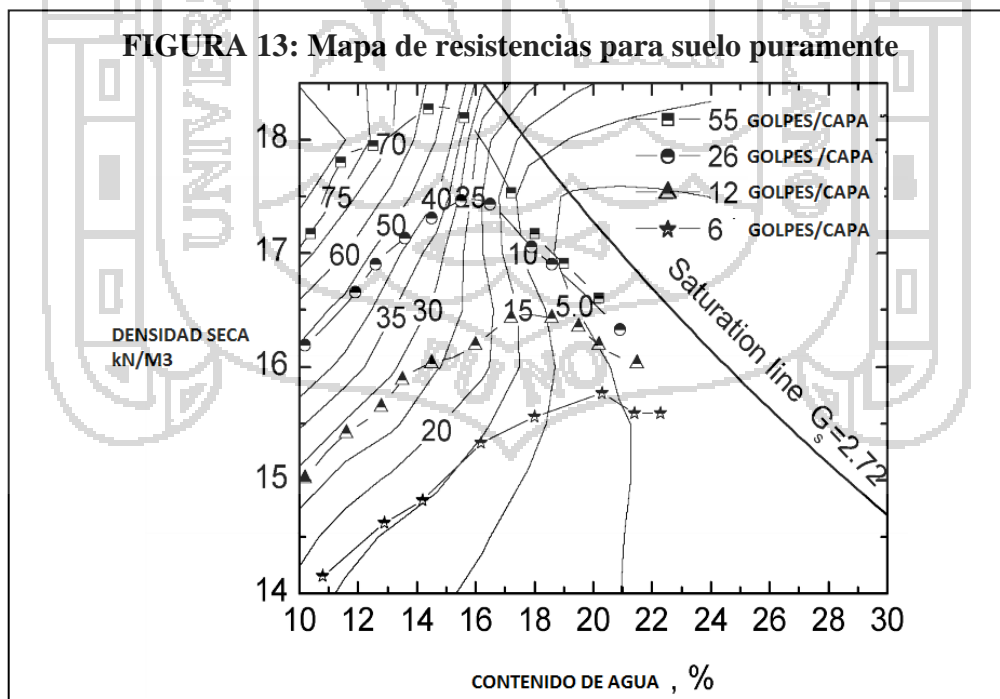
**Mapas para suelos limpios:** típicamente tienen las curvas de nivel prácticamente horizontales. Este tipo de suelo no es susceptible al humedecimiento; en ellos se cumple «a mayor densidad, mayor resistencia».

**FIGURA 12: Mapa de resistencias para suelo limpio**



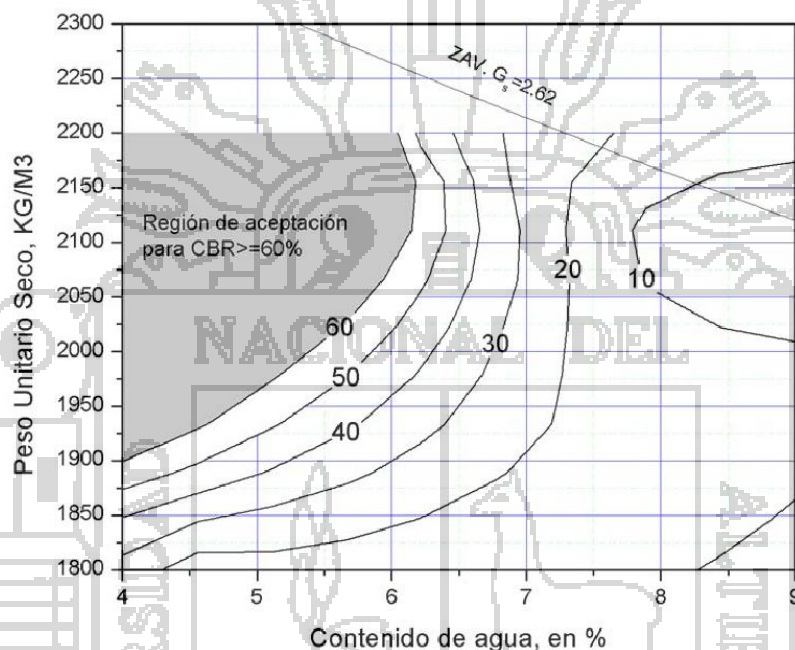
*Mapas para suelos puramente cohesivos:* típicamente tienen curvas de nivel prácticamente verticales. Tal es el caso de arcillas y limos plásticos. Este tipo de material es francamente susceptible al humedecimiento para, estos suelos la densificación prácticamente no tiene ninguna influencia en la resistencia.

**FIGURA 13: Mapa de resistencias para suelo puramente**



*Mapas para suelos mixtos:*

Comprenden la gran mayoría de los materiales pues tanto la densidad como la humedad tienen gran influencia en la resistencia. En estos suelos, mientras más seco y denso está el material, mayor es la resistencia, sin embargo, es posible encontrar regiones donde el material esté más seco y no requiera tanta densificación para alcanzar una elevada resistencia. Esta circunstancia es aprovechada en estos materiales para optimizar el proceso de compactación en campo dando menos pasadas y humedeciendo menos el material, lo que se traduce en un impacto significativo en la economía del proceso.



**FIGURA 14: Región de aceptación para suelo mixto**

Con lo explicado anteriormente se puede realizar un cuadro comparativo de ambas variantes ASTM para obtener el CBR de un suelo compactado.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Sánchez-Leal, Freddy J.1- Proctor vs. RAMCODES, 2012.

**FIGURA 15: Comparación entre variantes del CBR ASTM D 1883.**

| Aspecto  | CBR de tres puntos  | CBR de 15 puntos  |
|--|---|---|
| Diseño de suelo compactado                             | Diseña un suelo compactado. Si el suelo es limpio (GW, GP, SW, SP), el diseño es apropiado. Si el suelo es distinto a estas clasificaciones, el diseño bien podría ser muy conservador. | Diseña cualquier tipo de suelo compactado. Permite aprovechar al máximo la resistencia de un material mediante un análisis racional; optimiza el uso de los recursos de construcción. |
| Condición de hidratación.                              | Sí  | Sí  |
| Condición de sobrecarga                                | Sí  | Sí  |
| Número mínimo de especímenes necesarios para el diseño | 3   | 15  |
| Tiempo de respuesta del ensayo                         | 2 a 5 días (dependiendo de la condición de hidratación seleccionada)  | 3-6 días (dependiendo de la condición de hidratación seleccionada)  |
| Costo de un ensayo                                     | Aproximadamente igual que El CBR de 15 puntos   | Aproximadamente igual que el CBR de 3 puntos.   |
| Producto para llevar el control de compactación        | Curva Proctor   | Mapa de resistencia con región de aceptación.   |
| Premisa  | «a mayor densidad, mayor resistencia»   | «cada suelo tiene una relación humedad-densidad resistencia muy particular y compleja que requiere ser estudiada» (Turnbull & Foster, 1956)   |

Fuente: Sánchez Leal Freddy J., Proctor vs. RANCODES, 2012.

**b) Objetivo**

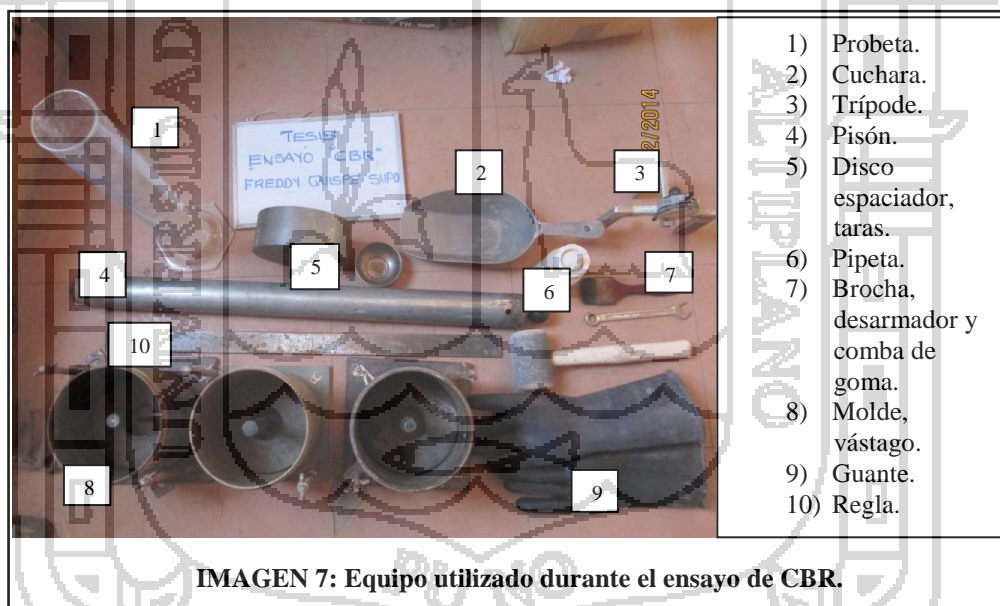
Determinar la resistencia al esfuerzo cortante por punzonado de los materiales granulares compactados. Dicha resistencia para las mismas condiciones de carga y penetración en el material granular compactado, se expresa como:

$$CBR = \frac{\text{Carga de penetración en el material estudiado}}{\text{Carga de penetración en el material patrón}} \times 100$$

**c) Equipo**

- Tamices de 2", 3/4", 3/8" y N° 4.
- Molde cilíndrico de CBR.

- Disco espaciador.
- Pisón de 10 lb de peso.
- Horno eléctrico de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01 gr)
- Balanza de 20 kg (sensibilidad de  $\pm 1$  gr).
- Regla metálica.
- Probeta graduada de  $500\text{ cm}^3$ .
- Bandeja metálica grande y cucharon metálico.
- Capsulas metálicas (taras).
- Máquina de prueba.
- Vástago ajustable y juego de placas (10 lb).
- Trípode para medir la expansión del suelo.
- Papel filtro cortado en círculos de 6" de diámetro.



#### d) Procedimiento

- Del mismo material seleccionado para el ensayo de Próctor, se preparan tres muestras secas en peso de dicho material y el molde de CBR añadiendo su anillo de extensión y fijándola a una placa de base mediante tuercas.
- Preparar en una probeta una cantidad de agua similar en porcentaje del contenido óptimo de humedad determinado para la máxima densidad seca en el ensayo de Próctor. Cantidad de agua que será igual para las tres muestras.



- Remover en una bandeja la muestra con el agua hasta lograr una mezcla uniforme y dividirla en cinco partes proporcionales.
- Colocar 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.
- Quitar la extensión del molde y enrasar 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.
- 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 pistón 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 72 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 espécimen 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 0.05" por minuto 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.

#### e) Cálculos

- Se determina la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de Próctor en la forma indicada anteriormente. Para cada molde se calcula su densidad húmeda y su densidad seca, considerando que el volumen del molde es el volumen neto sin tomar en cuenta la altura del espaciador ya que allí no se coloca la muestra. La densidad seca del molde de 56 golpes, deberá coincidir con la obtenida en la prueba de Próctor Modificado.
- Se grafica a escala natural: la penetración Vs. La carga necesaria para esa penetración, siendo este valor el de la lectura corregida por calibración del instrumento, resultando 3 curvas, una para cada número de golpes 56, 25 y 12.
- Si las curvas presentan inflexión al inicio se corrige trazando una tangente en el punto en que se unen la parte recta y la parte cóncava de la curva y el punto donde se intercepta el eje de las abscisas, se considera el cero corregido.
- A partir del valor cero, corregido en el caso de la curva que lo posee, se mide 0.1” de penetración y se traza la vertical. En el punto donde se intercepta con la curva o la tangente en el caso de la curva corregida, se toma el valor de la carga.
- Finalmente se grafica al costado de la curva de próctor, la curva del porcentaje de Valor Relativo de Soporte (CBR) alcanzado en cada muestra vs. La densidad seca para cada caso. Se calcula el valor del CBR para el 95% de la máxima densidad seca si se trata de suelos cohesivos y al 100% si es de no cohesivos.

#### f) Referencias

- MTC E111-99.
- ASTM D424.
- AASHTO T90.
- NTP 339.145:1999

#### 2.1.8.2.7. ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

##### a) Fundamento

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la sub rasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de Base y Carpeta Asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores (Sub Base) de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la Abrasión.

#### **b) Objetivo**

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los Ángeles.

#### **c) Equipos de Laboratorio**

- Máquina de desgaste de Los Ángeles.
- Tamices. De los siguientes tamaños: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°8, Un tamiz N°12 para el cálculo del desgaste.
- Esferas de acero de 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
- Horno. Capaz de mantener una temperatura de 110±5 °C.
- Balanza. Sensibilidad de 1.0 gr.



IMAGEN 8: Equipo utilizado durante el ensayo de Abrasión los Ángeles.

**d) Material y carga abrasiva a utilizar**

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. En la Tabla 17, se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original del material suministrado para la obra.

**TABLA 17: Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos hasta de 1 1/2".**

| MÉTODO                          |                   | A                                    | B               | C               | D               |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DIÁMETRO                        |                   | CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr.) |                 |                 |                 |
| Pasa el tamiz                   | Retenido en tamiz |                                      |                 |                 |                 |
| 1 1/2"                          | 1"                | 1250+-25                             |                 |                 |                 |
| 1"                              | 3/4"              | 1250+-25                             |                 |                 |                 |
| 3/4"                            | 1/2"              | 1250+-10                             | 2500+-10        |                 |                 |
| 1/2"                            | 3/8"              | 1250+-10                             | 2500+-10        |                 |                 |
| 3/8"                            | 1/4"              |                                      |                 | 2500+-10        |                 |
| 1/4"                            | N°4               |                                      |                 | 2500+-10        |                 |
| N°4                             | N°8               |                                      |                 |                 | 5000+-10        |
| <b>PESO TOTAL</b>               |                   | <b>5000+-25</b>                      | <b>5000+-25</b> | <b>5000+-25</b> | <b>5000+-25</b> |
| <b>N° de esferas</b>            |                   | 12                                   | 11              | 8               | 6               |
| <b>N° de revoluciones</b>       |                   | 500                                  | 500             | 500             | 500             |
| <b>Tiempo de rotación (min)</b> |                   | 15                                   | 15              | 15              | 15              |

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### e) Procedimiento de Ensayo

- El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105-110°C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan, según la Tabla 17.
- Pesar la muestra con precisión de 1 gr., para el caso de agregados gruesos hasta de 1 ½”.
- Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa, ésta tapa posee empaquetadura que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método.
- Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla N°12.
- El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C, pesar la muestra con precisión de 1gr.

### f) Cálculos

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

Dónde:  $P_{\text{inicial}}$ : Peso de la muestra seca antes del ensayo.

$P_{\text{final}}$ : Peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz de 1.7mm (N° 12).

### g) Referencias

- ASTM C-131
- MTC E207-1999
- NTP 400.019

## 2.1.9. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

### 2.1.9.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento, de modo que podamos aprovechar sus

mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más cebero.

Las propiedades que se intentan modificar en un material a través de un proceso de estabilización son: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. Es así que Teresa López Lara y Juan Bosco Hernández Zaragoza investigadores de la Universidad Autónoma de Queretano – México, en su trabajo de investigación **“Polímeros Para La Estabilización Volumétrica De Arcillas Expansivas”**, 2010. Plantearon el siguiente objetivo: Reducir el cambio volumétrico de las arcillas, utilizando un Poliuretano que comúnmente se aplica para sellado de grietas en la construcción. En donde al material (arcilla) se le adicionó Poliuretano en porcentajes de 4, 6, 8, y 10%. Realizaron ensayos de compresión simple, límite líquido, límite plástico, límite de contracción, peso específico y consolidación. Donde llegaron a las siguientes conclusiones:

- Las pruebas muestran que la mezclas suelo-polímero reducen la expansión en, aproximadamente el 40%, respecto a la del suelo natural.
- El suelo natural es un CH (suelo arcilloso de alta compresibilidad) y el suelo-polímero al 5% ubican a la mezcla en ML (limo de baja compresibilidad), de acuerdo a la clasificación del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), lo que significa que esta mezcla reduce su potencial de expansión de alto a bajo.
- La mezcla suelo-polímero no mejora las propiedades de resistencia, aspecto que no es primordial en un suelo expansivo por presentar frecuentemente altas resistencias.
- Uno de los resultados más significativos dentro de esta investigación, es el que se refiere a la expansión. Las pruebas muestran que la mezcla suelo-polímero tiene una reducción en la expansión de alrededor del 40% respecto a la expansión del suelo natural.
- De las pruebas de consolidación, se obtuvo que el coeficiente de permeabilidad se reduce con polímero; disminuyendo los cambios volumétricos del suelo expansivo. Además, el suelo con polímero es menos compresible que el natural, reduciendo significativamente posibles asentamientos.

Esta modalidad (estabilización) consiste en adicionar al suelo del camino (proyecto) algún componente de origen orgánico o inorgánico, que permita mejorar las características físicas mecánicas del camino a través de la cohesión de las partículas finas, logrando disminuir la disgregación, aumentar las características resistentes, disminuir la permeabilidad y reducir la polución. Estos componentes actúan exclusivamente sobre la fracción fina de los suelos pasantes la malla N° 4 y especialmente en los limos y arcillas (Ing. Gonzalo Brazzini Silva, 2008). Así como Edgar Rodríguez Rincón, investigador de la Universidad de Medellín-Colombia, en su trabajo: **“Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo sub base”**, 2006. Planteo, utilizar desecho de PVC como material de adición y agente estabilizante, para modificar el comportamiento de las características físicas mecánicas de una Sub Base granular a partir de los ensayos de Proctor y CBR. El material usado fue un suelo bien gradado con presencia de limos, se observa en su mayoría una mezcla de grava y arena. El material granular tipo Sub Base es No Líquido (NL) y No Plástico (NP), por la poca presencia de finos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**TABLA 18: Comportamiento del material granular tipo Sub Base**

| PROPIEDAD                                 |           | SIN ADITIVO |
|---|-----------|-------------|
| HUMEDAD ÓPTIMA (%)                        |           | 8.00        |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> ) |           | 2.04        |
| HUMEDAD (%)                               | 55 GOLPES | 7.68        |
|   | 26 GOLPES | 7.70        |
|   | 12 GOLPES | 7.29        |
| PESO UNITARIO(g/cm <sup>3</sup> )         | 55 GOLPES | 2.07        |
|   | 26 GOLPES | 2.00        |
|   | 12 GOLPES | 1.84        |
| <b>CBR</b>                                |           | 70.67%      |

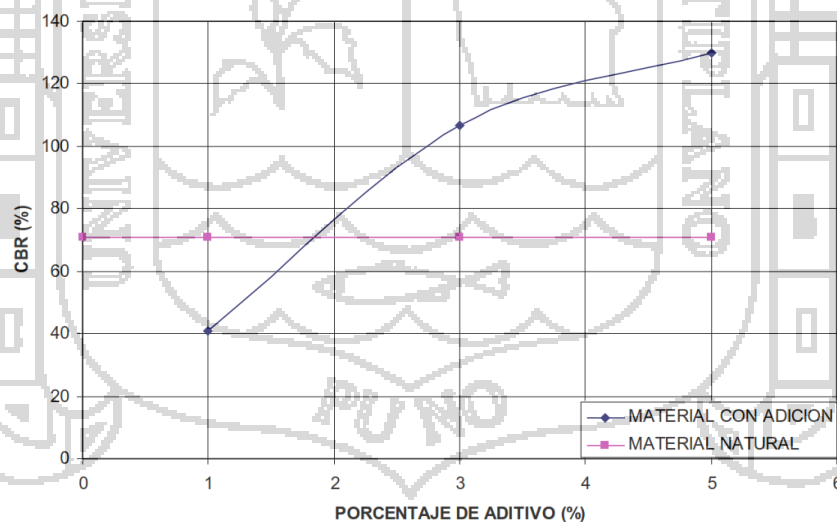
**Fuente:** Edgar Rodríguez Rincón-Universidad de Medellín-Colombia, 2006.

**TABLA 19: Análisis comparativo de las propiedades del material granular tipo sub base sin aditivo y con aditivo.**

| PROPIEDAD                          | Nº GOLPES | CON 0% | CON 1% | CON 3% | CON 5% |
|------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| HUMEDAD (%)                        | 55        | 7.68   | 6.85   | 7.89   | 6.48   |
|                                    | 26        | 7.70   | 6.72   | 7.45   | 7.56   |
|                                    | 12        | 7.29   | 6.18   | 7.38   | 7.23   |
| PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> ) | 55        | 2.07   | 2.08   | 1.99   | 2.04   |
|                                    | 26        | 2.00   | 1.97   | 1.96   | 1.96   |
|                                    | 12        | 1.84   | 1.95   | 1.86   | 1.84   |
| CBR (%)                            |           | 70.67  | 40.79  | 106.67 | 129.97 |

Fuente: Edgar Rodríguez Rincón-Universidad de Medellín-Colombia, 2006.

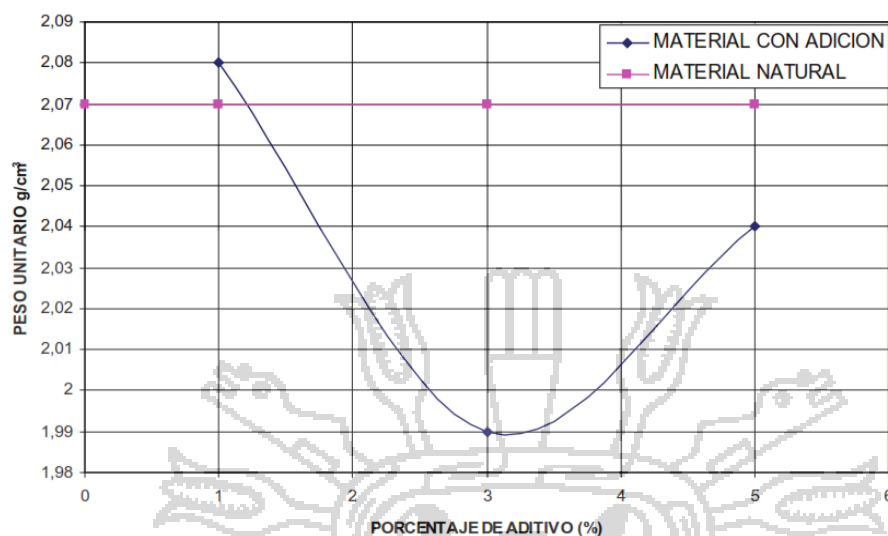
**FIGURA 16: Evolución del CBR para la mezcla del material natural y material con adición de PVC.**



Fuente: Edgar Rodríguez Rincón-Universidad de Medellín-Colombia, 2006.



**FIGURA 17: Evolución del Peso Unitario para la mezcla del material natural y material con adición de PVC.**



**Fuente:** Edgar Rodríguez Rincón-Universidad de Medellín-Colombia, 2006.

En donde llego a las siguientes conclusiones:

- El desecho de PVC se cataloga como un producto resistente que no se ve afectado por humus, líquidos corrosivos, soluciones acidas, soluciones básicas, soluciones salinas, solventes y productos químicos.
- Las características propias del material estudiado proporcionan al suelo estabilizado, un mejor comportamiento ante las etapas que enfrenta cuando es usado para conformar estructuras de pavimento.
- En el desarrollo del proyecto se determinó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CBR de un material granular tipo sub base a partir del 1.8%, caso en el cual mantiene las propiedades originales.
- Cuando se utilizaron porcentajes iguales o mayores al 3% de desecho de PVC, la resistencia aumentó y el peso unitario disminuyó.
- La mezcla analizada de material granular y desecho de PVC cumplió con los requerimientos de resistencia exigidos en pavimentos, y proporciona una superficie de apoyo a la base granular o a la losa de concreto aligerando.

También Javier Fernando Camacho Taita y Juan Ricardo Troncoso Rivera investigadores de la Universidad Militar Nueva Granada-Colombia, plantearon el “**Uso De Cloruro De Sodio En Bases Granulares**”, 2006. Para ver el efecto en las propiedades

mecánicas que tiene al introducir NaCl industrial en Bases Granulares con granulometría del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

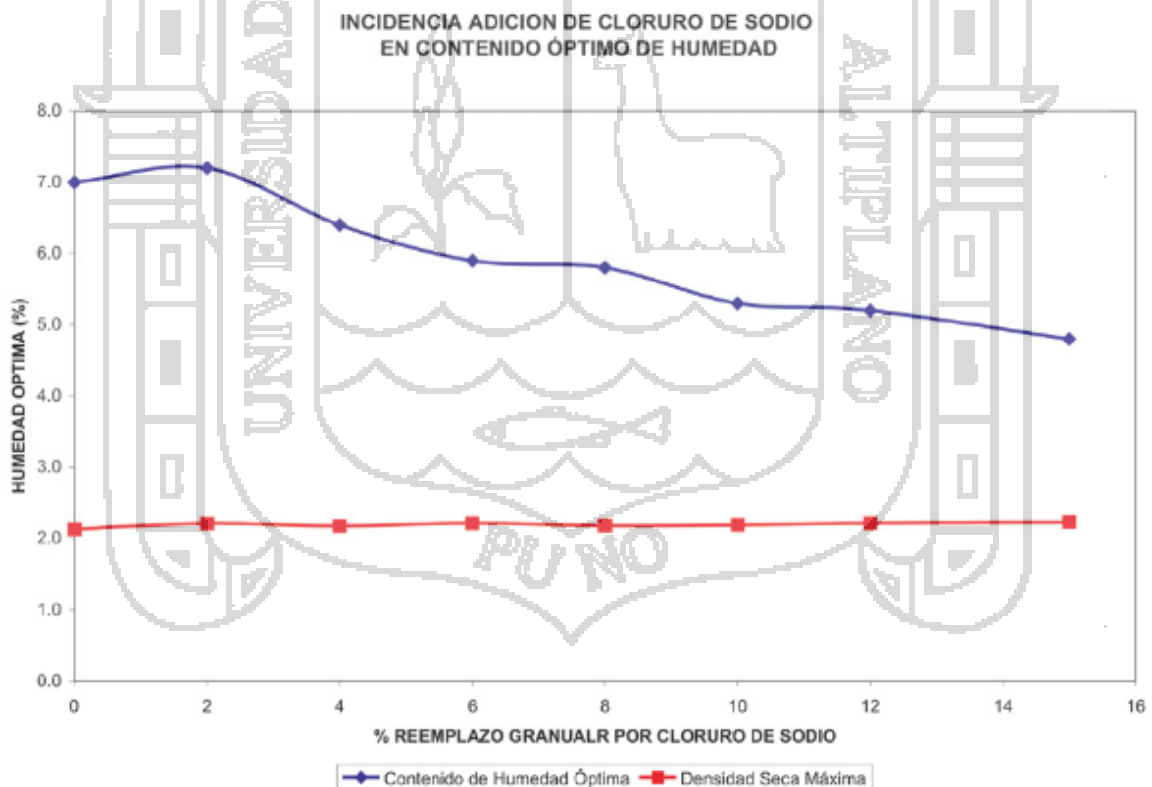
En los siguientes cuadros se muestran la evolución de las propiedades:

**TABLA 20: Densidad seca máxima y humedad óptima material con adición de NaCl.**

| NaCl (%) | W óptima (%) | Densidad Seca Máxima (T/m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------|--|
| 0        | 7.0          | 2.130                                    |
| 2        | 7.2          | 2.210                                    |
| 4        | 6.4          | 2.175                                    |
| 6        | 5.9          | 2.215                                    |
| 8        | 5.8          | 2.180                                    |
| 10       | 5.3          | 2.190                                    |
| 12       | 5.2          | 2.215                                    |
| 15       | 4.8          | 2.230                                    |

**Fuente:** Javier Fernando Camacho Taita - Juan Ricardo Troncoso Rivera, Universidad Militar Nueva Granada-Colombia, 2006.

**FIGURA 18: Porcentajes óptimos de humedad con adición de NaCl.**



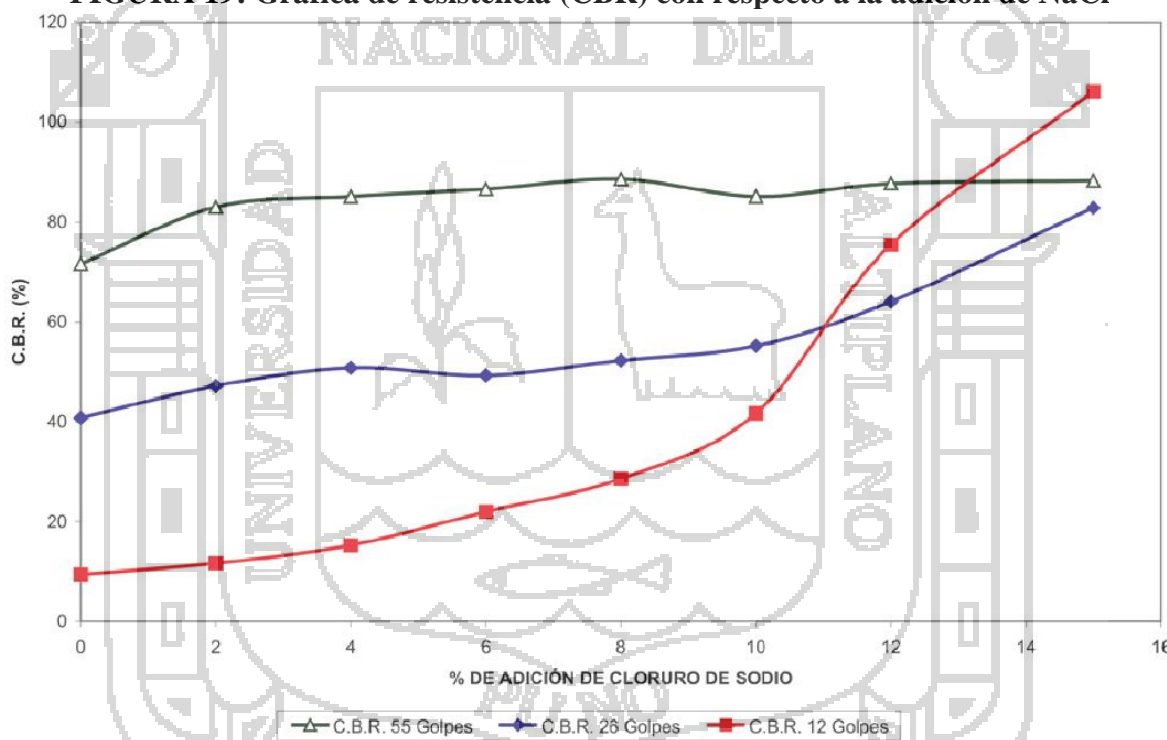
**Fuente:** Javier Fernando Camacho Taita - Juan Ricardo Troncoso Rivera, Universidad Militar Nueva Granada-Colombia, 2006.

**TABLA 21: Resultados CBR con respecto a la adición NaCl.**

| % NaCl | Energía de compactación |           |           |
|--------|-------------------------|-----------|-----------|
|        | 12 Golpes               | 26 Golpes | 55 Golpes |
| 0.0    | 9.42                    | 40.80     | 71.60     |
| 2.0    | 11.70                   | 47.20     | 83.00     |
| 4.0    | 15.30                   | 50.80     | 85.10     |
| 6.0    | 21.99                   | 49.30     | 86.60     |
| 8.0    | 28.61                   | 52.29     | 88.60     |
| 10.0   | 41.70                   | 55.20     | 85.10     |
| 12.0   | 75.48                   | 64.08     | 87.70     |
| 15.0   | 106.15                  | 82.85     | 88.30     |

**Fuente:** Javier Fernando Camacho Taita - Juan Ricardo Troncoso Rivera, Universidad Militar Nueva Granada-Colombia, 2006.

**FIGURA 19: Gráfica de resistencia (CBR) con respecto a la adición de NaCl**



**Fuente:** Javier Fernando Camacho Taita - Juan Ricardo Troncoso Rivera, Universidad Militar Nueva Granada-Colombia, 2006.

Donde llegaron a las siguientes conclusiones:

- Hay un incremento de la resistencia (CBR) de 9 veces para una adición del 15% de NaCl; un aumento en la resistencia a la compresión de 100% para el porcentaje de

8% de NaCl y un descenso de la resistencia a tracción para todos los porcentajes de adición.

- Que en la medida que se adicione mayor porcentaje de cloruro de sodio al material granular, la humedad óptima disminuye y la densidad seca máxima no presenta cambios significativos.
- La resistencia del material granular determinada por el ensayo CBR se incrementa, especialmente para el nivel de energía bajo (12 golpes), alcanzando incrementos hasta de 12 veces su valor inicial. Para la energía mayor (55 golpes) el cambio de resistencia es poco significativo.
- Con respecto a los ensayos de resistencia a la compresión simple, se obtiene solo incrementos de resistencia para el nivel de energía de 55 golpes en el rango comprendido entre 2 y 8%.
- La resistencia obtenida a la tracción indirecta mediante el ensayo brasilero, demostró que para ningún porcentaje de adición de cloruro de sodio se obtiene incremento de la resistencia.

La estabilización de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto, generalmente denominado estabilizador, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar, de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto (Norma técnica de estabilizadores, MTC E 1109, 2004).

La aplicación de un estabilizador tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado en un espesor definido, ciertas características tendientes a mejorar sus propiedades de desempeño, ya sea en la etapa de construcción y/o en la de servicio (Norma técnica de estabilizadores, MTC E 1109, 2004).

Las propiedades de desempeño indicadas, dependen de un gran número de factores, difíciles de reproducir y/o evaluar, tanto en el laboratorio como en el terreno. Entre estos se incluyen la ubicación geográfica de los caminos y las condiciones climáticas, tales como la temperatura, humedad, etc., además dependen de otros factores externos como los producidos por el tránsito de los vehículos (Norma técnica de estabilizadores, MTC E 1109, 2004). Por ejemplo en la investigación **PRADENA, M., MERY, J.P., NOVOA, E. Chile, 2010**; realizaron una síntesis y discusión sobre el comportamiento de agentes estabilizantes en caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo y nieve en

zonas de montaña. En donde se menciona que: los polímeros mejoran la resistencia mecánica del suelo. Disminuye el agua contenida entre las partículas de suelo y reduce la permeabilidad. Buen uso en suelos granulares, limosos y/o arcillosos (Pradena, Mery, & Novoa, 2010)

Los más utilizados para estabilizar Bases Granulares corresponden al cemento, asfalto, compactación y cal, sin embargo. En la actualidad se investigan métodos y materiales no convencionales que permitan estabilizaciones óptimas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Es así que en el: “**Convenio de investigación y utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras- España**”, 2011, se estudio un catalizador polimérico indicado para suelos cohesivos y semi cohesivos. Se trata de una sustancia que reacciona con los iones libres del suelo especialmente con productos cálcicos.

La caracterización del suelo local investigado en la zona de la obra son: uno de naturaleza granular, parecido al popular albero de Sevilla y que según el PG3 (norma española) es un suelo seleccionado. Otro de tipo arcilloso, y que según el PG3 (norma española) se trata de un suelo inadecuado y que por su proximidad a la zona de la prueba fue el escogido como material a estabilizar. Sus características principales son las que se describen a continuación:

**Densidad:** 1.66 Tn/m<sup>3</sup>

**Humedad óptima de compactación:** 14.8%.

**Límites de Atterberg:** Límite líquido: 59.1%; Límite plástico: 20%; Índice de plasticidad: 39.1%.

Para determinar las cantidades de los aditivos se procedió a ensayar nueve mezclas diferentes resultantes de cruzar porcentajes de cal de 2, 3 y 4% y de polímero en cantidades de 0.8, 1.2, 1.6 litros/m<sup>3</sup>. Los ensayos realizados fueron: límites de Atterberg, el hinchamiento, el CBR y la resistencia a compresión simple (RCS) en probetas que se dejaron curar 48 horas tras el amasado y moldeado. En las siguientes tablas se muestran los detalles:

**TABLA 22: Valores del CBR al 100% de densidad. CBR del suelo natural.**

|                        |       | Cantidad de Base Seal (l/m3) |      |      |
|------------------------|-------|------------------------------|------|------|
|                        |       | 0.8                          | 1.2  | 1.6  |
| Cantidad de cal<br>(%) | 2.00% | 25.6                         | 30.2 | 34.3 |
|                        | 3.00% | 49.9                         | 53.6 | 56.0 |
|                        | 4.00% | 57.9                         | 62.5 | 66.0 |

**Fuente:** Convenio de investigación y utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras-España, 2011.

**TABLA 23: Valores de la RCS en kg/cm2. RCS del suelo natural: 8**

|                        |       | Cantidad de Base Seal (l/m3) |     |     |
|------------------------|-------|------------------------------|-----|-----|
|                        |       | 0.8                          | 1.2 | 1.6 |
| Cantidad de cal<br>(%) | 2.00% | 10                           | 10  | 11  |
|                        | 3.00% | 13                           | 15  | 14  |
|                        | 4.00% | 16                           | 18  | 18  |

**Fuente:** Convenio de investigación y utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras-España, 2011.

**TABLA 24: Valores del hinchamiento libre. Hinchamiento del suelo natural: 7.90%**

|                        |       | Cantidad de Base Seal (l/m3) |      |      |
|------------------------|-------|------------------------------|------|------|
|                        |       | 0.8                          | 1.2  | 1.6  |
| Cantidad de cal<br>(%) | 2.00% | 1.70                         | 1.50 | 1.45 |
|                        | 3.00% | 1.35                         | 1.30 | 1.20 |
|                        | 4.00% | 1.00                         | 0.85 | 0.80 |

**Fuente:** Convenio de investigación y utilización de polímeros en la estabilización de suelos para su uso en carreteras-España, 2011.

Para escoger la mezcla y su uso en obra, se buscó aquella mezcla que redujese al mínimo el hinchamiento, por lo que finalmente se escogió la mezcla que contenía un 4% de cal y 1.6 l/m3 de GB (polímero).

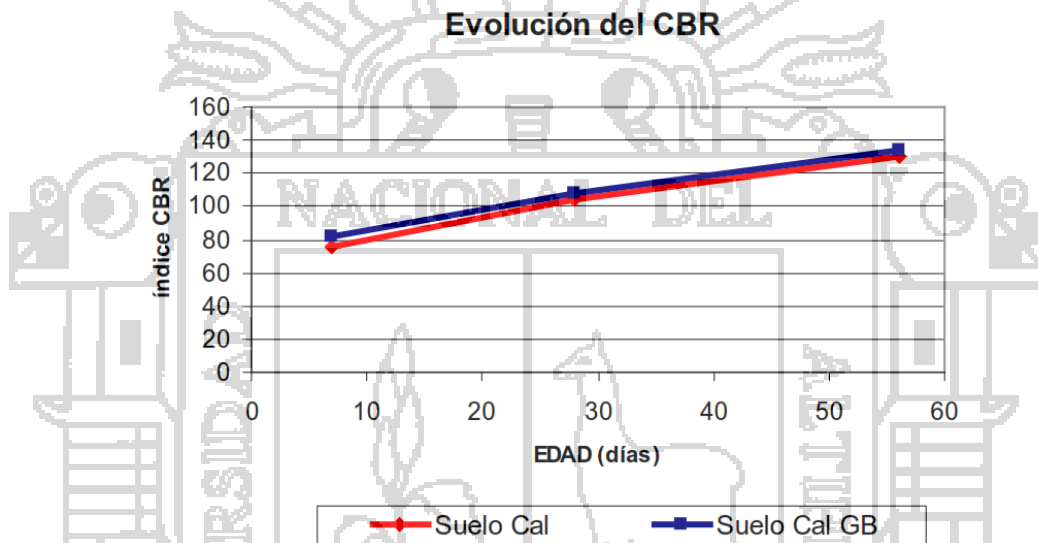
Los ensayos de laboratorio fueron realizados para determinar la evolución de la resistencia estructural del suelo estabilizado, y así medir la susceptibilidad al agua del mismo.

Los parámetros realizados fueron:

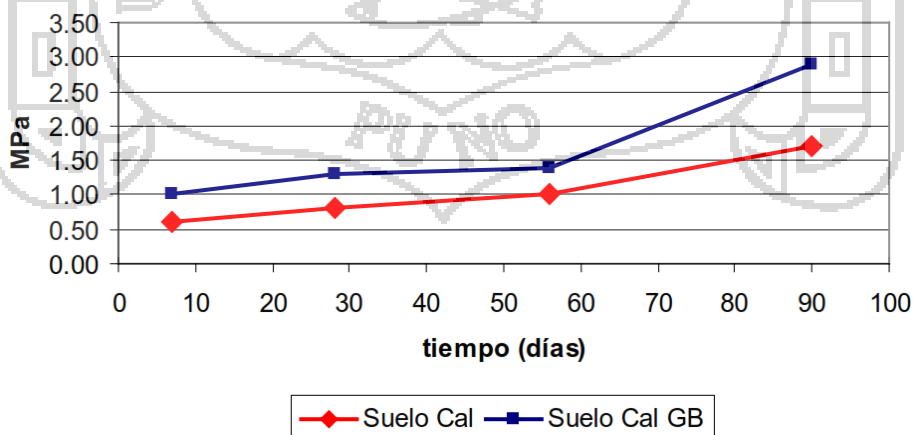
- CBR a 7, 28, 56 días
- RCS a 7, 28, 56, 90 días.
- Hinchamiento a 3 y 7 días

En las siguientes figuras se muestran los valores de los ensayos de laboratorio.

**FIGURA 20: Evolución del CBR para la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB.**



**FIGURA 21: Evolución de la RCS para la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB.**



**TABLA 25: Hinchamiento de la mezcla de suelo y cal y de suelo, cal y GB.**

| Hinchamiento libre en edómetro | 3 días | 7 días |
|--------------------------------|--------|--------|
| Suelo Cal                      | 0.08%  | 0.03%  |
| Suelo Cal Base Seal            | 0.00%  | 0.00%  |

Llegando a las siguientes conclusiones:

- Los tramos estabilizados con cal y polímeros se comportan eficientemente, tanto a nivel de su estabilidad interna como a nivel de capacidad portante.
- A largo plazo cabe esperar la aparición de fisuras en el tramo estabilizado con cal por la tecnología de los ligantes puzolanicos, mientras que el tramo estabilizado con cal y polímero debería estar libre de este fenómeno. (Consejería de Obras Públicas y Vivienda, 2011)

Así también el **PROYECTO CENIT CLEAM, España-Madrid, 2011**, planteo el objetivo de Sentar las bases técnicas y medioambientales de utilización de escorias negras de HEA, arenas de fundición de naturaleza orgánica o combinación de las anteriores, como material granular en la construcción de infraestructuras de transporte lineal.

Siguiendo esta tendencia también: Juan Manuel Cadenas Armentia - España, 2006, en el trabajo de investigación **“Innovaciones en los modernos tratamientos in situ o en capas de granulares de firme con empleo de residuos y subproductos como herramientas de gestión eficiente y sostenible de las infraestructuras viarias”**. Señala:

La construcción de infraestructuras viarias viene condicionada hoy en día, por numerosos requerimientos ambientales que llevan aparejados consecuencias económicas de ninguna manera despreciables. Así mismo el necesario respeto por el paisaje conduce a un interés por evitar la apertura de nuevas canteras o emplear subproductos, que conlleva a un encarecimiento de materias primas vírgenes extraíbles de aquellas, donde la reducción de los transportes de materias primas aporta beneficios económicos y medioambientales, por la reducción de consumos energéticos y mayor durabilidad de la red viaria. Como consecuencia de esta situación los modernos tratamientos in situ de materiales granulares naturales o reciclados permiten emplear materiales sub óptimos o residuos para construir capas estructurales del pavimento (materiales estabilizados, reciclados en frío, capas de base) reduciendo los costos económicos y ambientales del transporte y al mismo tiempo prolongando la vida útil de los yacimientos de materiales pétreos o evitando la creación de nuevos. En esta línea se están desarrollando trabajos tendientes a mejorar las prestaciones de este tipo de materiales mediante



proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, y tramos reales de prueba de magnitudes representativas (SERVIA CANTO-FCC CONSTRUCCION, 2006).

### **2.1.9.2. TIPOS Y USOS DE ESTABILIZACIONES**

Se tiene los siguientes tipos de estabilización de suelos:

#### **A. Estabilización física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como:

- Mezcla de suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso, pero, por sí sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento. La mezcla adecuada de dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión de otra para que las partículas se mantengan unidas.
- Geotextiles.
- Vibro flotación (mecánica de suelos)
- Consolidación previa.

#### **B. Estabilización mecánica**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzca reacciones químicas de importancia.

- Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en la Sub Base, Base y en las carpetas asfálticas.

#### **C. Estabilización química**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

Se tiene los siguientes estabilizadores químicos más importantes para el uso en carreteras:

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

- Productos asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de fundición: este se utiliza en carpetas asfálticas para dar mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Hule de neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil. (Mendoza Mendiola María de los Ángeles: Autora de la tesis “Bases y Sub Bases”, 2008)








#### **2.1.10. POLÍMEROS**

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

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

De acuerdo a la Sociedad de Industrias de Plástico (PSI) la codificación internacional de los plásticos (polímeros) es la siguiente:

TABLA 26: Codificación internacional de los plásticos (polímeros).

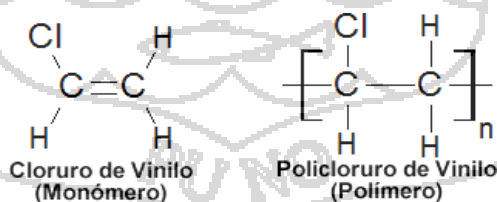
| CÓDIGO  | SIGLAS      | NOMBRE   |
|---|-------------|--|
|  | PET         | Polietileno tereftalato  |
|  | PEAD (HDPE) | Polietileno de alta densidad   |
|  | PVC         | Policloruro de vinilo  |
|  | PEBD (LDPE) | Polietileno de baja densidad   |
|  | PP          | Polipropileno  |
|  | PS          | Poliestireno   |
|  | Otros       | Resinas epoxídicas<br>Resinas fenólicas<br>Resinas amídicas<br>Poliuretano |

**Fuente:** Diagnóstico situacional y propuestas de gestión y manejo de los empaques rígidos para productos de consumo masivo-2004.

### 2.1.10.1. POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El policloruro de vinilo,  $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$ , es un polímero sintético de adición que se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, y es la materia prima para la preparación del PVC. Su estructura molecular se ilustra en la figura 22.

FIGURA 22: Estructura molecular del Policloruro de Vinilo (PVC).



Las materias primas de las cuales se deriva el PVC son: la sal común y el petróleo o gas natural. Del petróleo o gas se obtiene el etileno, mediante un proceso de craqueo; la sal se disuelve en agua y se somete a electrólisis para separar el cloro presente en ella. El etileno, en un 43%, y el cloro, en un 57%, son entonces combinados bajo calor para obtener un gas monómero, el cloruro de vinilo. Las moléculas del monómero se encadenan como resultado de una reacción conocida como polimerización. El producto resultante de este

proceso es el PVC en su estado de resina virgen, cuyo aspecto es el de un fino polvillo blanco (PETCO S. A., 2005).

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

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

Ventajas del PVC rígido<sup>5</sup>:

- Bajo precio.
- Gran resistencia mecánica.
- Buena resistencia química.
- Poca absorción de agua.
- Gran resistencia al impacto.
- Buena resistencia a la intemperie.
- Buena rigidez.
- Excelentes propiedades eléctricas.
- Buena apariencia superficial.

#### 2.1.10.2. APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC)

---

<sup>5</sup> Caracterización y Aprovechamiento de residuos de las empresas PRIMEX (PVC) y BASF (ABS)-Instituto Politécnico Nacional-Altamira, Tamaulipas, agosto 2007.

TABLA 27: Aplicaciones industriales del Policloruro de Vinilo (PVC).

| SECTOR       | APLICACIÓN  | Porcentaje destino | Vida estimada (años) |
|--------------|---|--------------------|----------------------|
| CONSTRUCCIÓN | Botas, ropa de seguridad, ropa impermeable, guantes. Accesorios, molduras, aislantes de cables. Tuberías de agua potable, ventilación, desagües, acometidas eléctricas, transporte liviano, Ventanas, puertas, persianas, marcos, perfiles, zócalos, pisos, paredes, láminas para impermeabilización (techos, suelos) | 50%                | 15 - 100             |
| PACKAGING    | Botellas para agua y jugos, frascos y conservas (alimentos, fármacos, cosmética, limpieza, etc.). Láminas o films (golosinas, alimentos)  | 8%                 | 0-2                  |
| VIVIENDA     | Paneles para paredes, tapicería. Piezas para muebles (manijas, rieles, burletes, etc.); placas divisorias. Muebles de jardín, reposeras, mesas.   | 5%                 | 10-70                |
| ELECTRÓNICA  | Partes de artefactos eléctricos, cajas de distribución, enchufes, carcazas y partes de computadoras. Aislantes de cables.   | 9%                 | 15-70                |
| MEDICINA     | Tubos y bolsas para sangre y diálisis, catéteres, válvulas, delantales, botas. Blisters.  | 4%                 | 0-2                  |
| VESTIMENTA   | Calzado, zapatillas, ropa impermeable, guantes, bolsos, valijas, carteras.  | 2%                 | 0-5                  |
| AUTOMOTRIZ   | Tapicería, paneles para tablero, apoyabrazos, protección anticorrosiva y anti vibratoria, etc.  | 21%                | 2-15                 |
| VARIOS       | Tarjetas de crédito, artículos de librería. Juguetes. Mangueras, art. de riego, etc.  | 1%                 | 0-5                  |

**Fuente:** Estudio de factibilidad para una planta procesadora de resinas de PVC, 2005.

### 2.1.10.3. DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

Desde principios de su producción, el desecho de PVC, puede ser reciclado debido a que su vida útil que supera los 50 años.

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

Estudios mecánicos demostraron que las propiedades entre la resina de PVC virgen y PVC reciclado, no son significativamente diferentes (J. C. Arnold, B. Maund. Las

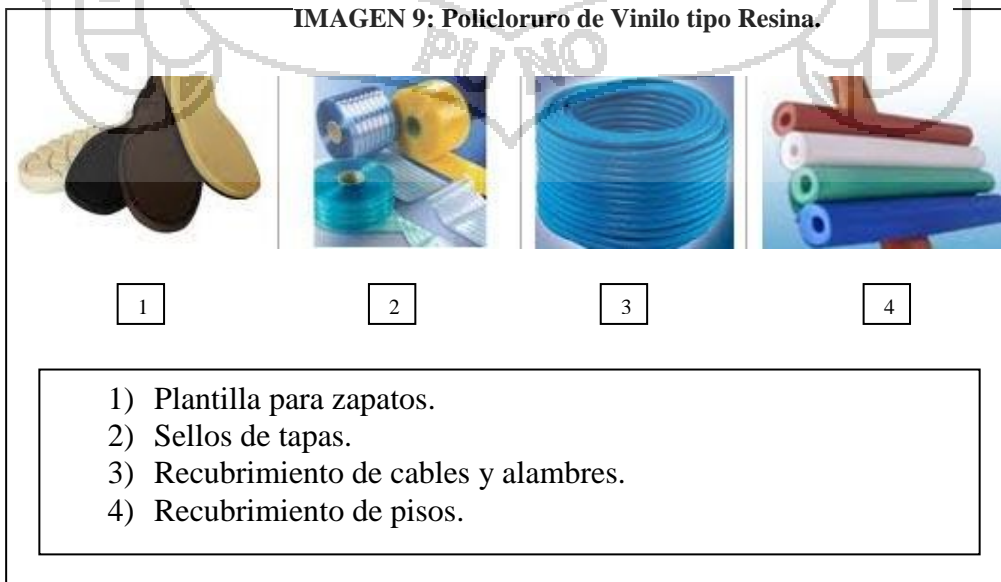
propiedades de los compuestos de botellas de PVC reciclado, parte 1 Ingeniería de Polímeros y Ciencia, 1999).

El PVC es usado para diversas aplicaciones:

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



IMAGEN 9: Policloruro de Vinilo tipo Resina.



- El **IMAGEN 10: Aplicaciones de Policloruro de Vinilo tipo Resina.**

PVC tipo suspensión es usado en piezas inyectadas, tubería, perfiles, láminas, envases, tejas, películas, suelas, sellos para tapas, cables eléctricos, cintas, discos, tintas, pisos, adhesivos, lacas, cueros sintéticos, recubrimiento de telas, mangueras y geomembranas.



**IMAGEN 11: Aplicación de Policloruro de Vinilo tipo Suspensión.**

Por su procedencia, el desecho de PVC será un producto que contiene mezclas de las diferentes resinas. Dado que al momento de realizar el reciclaje se genera varios tipos de PVC, que en los compartimientos de descarga de desechos se mezclan y, además, por considerarse un desecho, no se le tienen grandes cuidados de manipulación quedando expuesto a la contaminación (tierra, agua, sílice). Por lo anterior, no posee unas propiedades muy definidas, sin embargo, este desecho está conformado en gran parte por resina de PVC por lo cual se supone que conserva la mayoría de sus propiedades (J. C. Arnold, B. Maund. Las propiedades de los compuestos de botellas de PVC reciclado, parte 1 Ingeniería de Polímeros y Ciencia, 1999).

#### **2.1.10.4. MANEJO DEL DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)**

El manejo del desecho se puede realizar:

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

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

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

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

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

#### **2.1.11. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE USO Y DISPONIBILIDAD DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO EN PROYECTOS CARRETEROS EN LA PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO**

##### **2.1.11.1. DISPONIBILIDAD DE DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO EN PROYECTOS CARRETEROS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA**



### 2.1.11.1.1. GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS

En el Perú, en la totalidad de ciudades se presentan problemas ocasionados por el inadecuado manejo de los residuos. Estos problemas son causas de la contaminación del aire, del agua, suelo y de la existencia de problemas de salud ocupacional así como de la salud pública. Estos residuos, son los envases de PET, PVC, multicapas o similares, los cuales se encuentran en calles, avenidas y botaderos de todas las ciudades del país, así como flotando en canales de riego, ríos, lagos y mares, generando problemas de deterioro del paisaje, contaminación del aire por la quema, persistencia en el medio por el bajo nivel de biodegradación, entre otros. La composición promedio nacional de los residuos sólidos municipales consta de 54.5% de materia orgánica putrescible, 20.3% de materiales altamente reciclables (papel, cartón, plásticos, vidrios, etc.) y 25.2% de material no reciclable (Diagnóstico situacional y propuestas de gestión y manejo de los empaques rígidos para productos de consumo masivo, 2004) tal como se muestra en la siguiente tabla 28:

**TABLA 28: Composición de los residuos sólidos municipales.**

| TIPO DE RESIDUO     | %             | TON              |
|---------------------|---------------|------------------|
| Papel               | 6.49          | 842.81           |
| Cartón              | 0.97          | 125.97           |
| Plásticos           | 4.30          | 558.41           |
| Vidrios             | 3.39          | 440.23           |
| Metales ferrosos    | 2.20          | 285.70           |
| Metales no ferrosos | 0.16          | 20.78            |
| Textiles y trapos   | 1.56          | 202.58           |
| Cueros y caucho     | 0.30          | 38.96            |
| Maderas             | 0.93          | 120.77           |
| Otros               | 25.20         | 3,272.53         |
| Orgánicos           | 54.50         | 7,077.49         |
| <b>Total</b>        | <b>100.00</b> | <b>12,986.23</b> |

**Fuente:** Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales (EVAL 2002) Informe Analítico Perú. Organización Panamericana de la Salud.

Según el orden de prioridad de los problemas de contaminación en la Provincia de Puno, en segundo lugar se han ubicado a la deficiencia gestión de los Residuos Sólidos. Este es una fuente de contaminación en la ciudad y de las aguas de la Bahía Interior de Puno, ya que el servicio de recojo y disposición final deja un déficit de 26.58%. Esta gran cantidad de residuos sólidos tienen como lugar de vertimiento en los diferentes puntos de acumulación temporal de residuos, en donde se encuentran animales e insectos que son vectores de enfermedades, también son llevados por los usuarios hacia las orillas del lago y arrastrados eventualmente a la Bahía Interior de Puno. A esto se suman los peligrosos

residuos hospitalarios (Hospital Manuel Nuñez Butrón), como también los residuos de las diferentes construcciones y obras civiles, que al no tener un sistema de manejo son transportados al botadero municipal. (Noticias en Mi Peru Red, 2013, s/n)

El sistema de manejo de residuos sólidos de Puno sufre de serias limitaciones de equipamiento y logística, que requieren solución urgente para evitar posteriores consecuencias irreversibles.<sup>6</sup>

Las grandes acumulaciones de residuos sólidos (en donde están incluidos los desechos de Policloruro de Vinilo) son cada vez más alarmante en la ciudad de Puno. Según reportes de la Sub Gerencia de Gestión Ambiental y Salud Pública, los pobladores de la ciudad de Puno producen 120 toneladas de basura diariamente de, éstas 80 corresponden a las viviendas específicamente, 30 al hospital Manuel Nuñez Butrón y la Universidad Nacional del Altiplano (Noticias en Mi Peru Red, 2013), tal como puede evidenciar la siguiente imagen 12:



**IMAGEN 12: Acumulación de residuos sólidos de la Ciudad de Puno.**

En la tabla 29, que se presenta a continuación, se observan altos valores porcentuales de materia orgánica (54.0%), y en segundo lugar se ubican los residuos plásticos con

---

<sup>6</sup> Municipalidad Provincial de Puno-Plan de Desarrollo Urbano, 2008-2012.

13.7%. (Dentro del cuales se encuentran los residuos de PVC). Las principales fuentes de generación de estos materiales son las mencionadas anteriormente y:

- Los hogares.
- El comercio.
- Instituciones, establecimientos educativos, oficinas y compañías.
- La industria productora.
- Obras civiles

**TABLA 29: Composición física de residuos sólidos en la ciudad de Puno.**

| COMPONENTE                     | PORCENTAJE   |
|--------------------------------|--------------|
| Materia orgánica biodegradable | 54.0         |
| Papel y cartón                 | 10.6         |
| Metal                          | 2.2          |
| Vidrio                         | 1.5          |
| Plásticos                      | 13.7         |
| Jebes                          | 0.5          |
| Cuero                          | 0.2          |
| Madera                         | 0.3          |
| Textiles                       | 0.7          |
| Otros(tierra, polvo)           | 16.3         |
| <b>total</b>                   | <b>100.0</b> |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos PIWANDES-CIED

### 2.1.11.2. GENERALIDADES SOBRE EL PVC

El Policloruro de Vinilo (PVC) con aditivos es el más versátil de los termoplásticos y puede ser sometido a varios procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del polietileno (Cortina Ramírez, 2007)

El PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance adecuado de éstos para poder transformarlo al producto final deseado.

La resina de PVC está formada en su contenido químico por 53% de PETROLEO y 47% de SAL COMUN. Del refino del petróleo se obtiene una sustancia gaseosa, el etileno, una de las bases para la fabricación del PVC. Mediante la polimerización del monómero VCM en reactores, en condiciones adecuadas de presión y temperatura, se obtiene el polímero Policloruro de Vinilo (PVC).

“El PVC (Policloruro de Vinilo) es único en su contenido de cloro y aditivos, lo que lo convierte en un veneno ambiental a través de su ciclo de vida, incluyendo la disposición final. Su quema genera sustancias cancerígenas como son las dioxinas” (Comite Inter Institucional para el mejoramiento de la Salud Ambiental - CIIMSA, 2004, pag. 44)

### **2.1.11.3. DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN PER CÁPITA (GPC) DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (DESECHOS DE PVC)**

#### **2.1.11.3.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS**

La generación diaria en el distrito de Puno es de 64.95 t/d (Waste Innovation S.A.C., 2010), tal como se detalla en el siguiente tabla 30.

**TABLA 30: Proyección anual de la generación de residuos domiciliarios.**

| <b>Población Urbana proyectada 2010</b> | <b>GPC promedio ponderado (kg/hab/d)</b> | <b>Generación diaria (t/d)</b> | <b>Generación mensual (t/mes)</b> | <b>Generación anual (t/año)</b> |
|---|--|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 127 362                                 | 0.510                                    | 64.95                          | 1 948.50                          | 23 706.75                       |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

**TABLA 31: Composición física de residuos sólidos domiciliarios.**

| COMPONENTE                                       | PORCENTAJE (%) |
|--|----------------|
| <i>Cartón:</i>                                   | 2.59           |
| Cartón marrón                                    | 1.04           |
| Cartón blanco                                    | 0.04           |
| Cartón blanco                                    | 1.51           |
| <i>Vidrio:</i>                                   | 0.81           |
| Vidrio blanco                                    | 0.65           |
| Vidrio marrón                                    | 0.16           |
| <i>Plástico:</i>                                 | 5.42           |
| PET (Tetrafelato de polietileno)                 | 2.43           |
| PEAD (HDPE)(Polietileno de alta densidad)        | 0.64           |
| PVC (Polocloruro de vinilo)                      | 0.03           |
| PEBD ó LDPE (Polietileno de baja densidad)       | 1.57           |
| PP (Polipropileno)                               | 0.69           |
| PS (Poliestireno)                                | 0.04           |
| ABS (acrilonitrilo, el butadieno y el estireno.) | 0.03           |
| <i>Tetrapack</i>                                 | 0.43           |
| <i>Latas (Aluminio)</i>                          | 1.62           |
| <i>Fierro</i>                                    | 0.66           |
| <b>B. Residuos no aprovechables</b>              | <b>9.33</b>    |
| Bolsas plásticas (bolsas)                        | 6.76           |
| Tecknopor  | 0.62           |
| Pilas  | 0.08           |
| Textiles   | 1.04           |
| Material inerte (tierra, piedras)                | 0.83           |
| <b>C. Residuos sólidos peligrosos</b>            | <b>12.33</b>   |
| Focos  | 0.02           |
| Pintura  | 0.02           |
| Sintético  | 0.17           |
| Cerámica   | 0.25           |
| Papel higiénico                                  | 4.40           |
| Toalla higiénica                                 | 0.20           |
| Pañal  | 7.27           |
| <b>TOTAL (A+B+C)</b>                             | <b>100.00</b>  |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios por sus características se pueden agrupar en tres grupos:

- Residuos aprovechables.- aquellos residuos que pueden ser aprovechados en la elaboración de compost (62,82%) o en la venta, por tener un precio en el mercado (15,52%).
- Residuos no aprovechables.- aquellos residuos que no pueden ser aprovechados y cuya disposición sería el relleno sanitario.
- Residuos peligrosos.- aquellos residuos que por sus características resultan ser peligrosos.

### 2.1.11.3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COMERCIOS

En la siguiente tabla 32, se presenta la generación de residuos comerciales, que es 1.36 t/d.

**TABLA 32: Cálculo de generación total de residuos comerciales.**

| Giro                                  | Área (m <sup>2</sup> ) | Número de establecimientos | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación (kg/d) |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Agencia de viajes                     | 0-30                   | 180                        | 0.39                              | 70.20             |
| Bazar                                 | 0-30                   | 231                        | 0.29                              | 66.99             |
|                                       | 30-100                 | 93                         | 0.90                              | 83.70             |
| Botica                                | 0-30                   | 68                         | 0.43                              | 29.24             |
|                                       | 30-100                 | 68                         | 0.91                              | 61.88             |
| Estudio fotográfico                   | 0-30                   | 23                         | 0.37                              | 8.51              |
|                                       | 30-100                 | 53                         | 0.70                              | 37.10             |
| Ferretería                            | 0-30                   | 79                         | 0.37                              | 29.23             |
|                                       | 30-100                 | 79                         | 0.97                              | 76.63             |
| Librería                              | 0-30                   | 21                         | 0.29                              | 6.09              |
|                                       | 30-100                 | 83                         | 0.88                              | 73.04             |
| Locutorios e internet                 | 0-30                   | 140                        | 0.33                              | 46.20             |
|                                       | 30-100                 | 60                         | 0.76                              | 45.60             |
| Minimarket                            | 100-1000               | 25                         | 7.11                              | 177.75            |
| Panadería o pastelerías o bagueterías | 0-30                   | 22                         | 1.25                              | 27.50             |
|                                       | 30-100                 | 197                        | 1.42                              | 279.74            |
| Peluquería - salón de belleza         | 0-30                   | 122                        | 0.59                              | 71.98             |
| Sastrería                             | 0-30                   | 34                         | 0.41                              | 13.94             |
| Tiendas                               | 0-30                   | 386                        | 0.41                              | 158.26            |
| <b>TOTAL</b>                          |                        |                            |                                   | <b>1363.58</b>    |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

**TABLA 33: Composición física de residuos sólidos comerciales.**

| COMPONENTE                                       | PORCENTAJE (%) |
|--|----------------|
| <b>A. Residuos aprovechables (A1 + A2)</b>       | <b>77.99</b>   |
| <b>A.1 Compostificables</b>                      | <b>42.86</b>   |
| <i>Residuos orgánicos:</i>                       | 0.88           |
| Hueso  | 0.79           |
| Madera   | 0.08           |
| Residuos alimenticios (restos de comida, frutas) | 41.17          |
| Cuero  | 0.05           |
| Pluma  | 0.76           |
| <b>A.2 Reciclables</b>                           | <b>31.13</b>   |
| <i>Papel:</i>                                    | 11.61          |
| Papel blanco                                     | 3.23           |
| Papel periódico                                  | 6.52           |
| Papel mixto                                      | 1.85           |
| Papel film                                       | 0.01           |
| <i>Cartón:</i>                                   | 6.30           |
| Cartón marrón                                    | 4.13           |
| Cartón mixto                                     | 2.17           |
| <i>Vidrio:</i>                                   | 1.74           |
| Vidrio blanco                                    | 1.68           |
| Vidrio marrón                                    | 0.07           |
| <i>Plástico:</i>                                 | 8.93           |
| PET (Tetrafolato de polietileno)                 | 5.34           |
| PEAD (HDPE)(Polietileno de alta densidad)        | 0.48           |
| PVC (Policloruro de vinilo)                      | <b>0.31</b>    |
| PEBD o LDPE (Polietileno de baja densidad)       | 1.87           |
| PP (Polipropileno)                               | 0.89           |
| PS (Poliestireno)                                | 0.05           |
| <i>Tetrapack</i>                                 | 1.33           |
| <i>Latas (Aluminio)</i>                          | 1.10           |
| <i>Fierro</i>                                    | 0.10           |
| <b>B. Residuos no aprovechables</b>              | <b>10.59</b>   |
| Bolsas plásticas (bolsas)                        | 8.34           |
| Tecknopor  | 0.60           |
| Textiles   | 0.11           |
| Porcelana  | 0.02           |
| Material inerte (tierra, piedras)                | 1.52           |
| <b>C. Residuos sólidos peligrosos</b>            | <b>15.42</b>   |
| Focos  | 0.11           |
| Cerámica   | 0.41           |
| Papel higiénico                                  | 5.46           |
| Toalla higiénica                                 | 0.84           |
| Pañal  | 8.60           |
| <b>TOTAL (A+B+C)</b>                             | <b>100.00</b>  |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

La composición física de los residuos sólidos comerciales por sus características se puede agrupar en tres grupos:

Residuos aprovechables.- aquellos residuos que pueden ser aprovechados en la elaboración de compost (42.86%) o en la venta, por tener un precio en el mercado (31.13%).

- Residuos no aprovechables.- aquellos residuos que no pueden ser aprovechados y cuya disposición sería el relleno sanitario.
- Residuos peligrosos.- aquellos residuos que por sus características resultan ser peligrosos.

#### 2.1.11.3.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN RESTAURANTES

La generación diaria de residuos sólidos en restaurantes es de 2888.72 kg/d o 2.89 t/d.

**TABLA 34: Generación de residuos en restaurantes.**

| Giro         | Área (m2) | Número de establecimientos | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación(kg/d) |
|--------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Restaurante  | 30-100    | 526                        | 3.45                              | 1814.70          |
|              | 100-1000  | 105                        | 4.64                              | 487.20           |
|              | 1000      | 26                         | 22.57                             | 586.82           |
| <b>total</b> |           |                            |                                   | <b>2888.72</b>   |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

#### 2.1.11.3.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN HOSPEDAJES

La generación diaria de residuos sólidos en hospedajes es de 1108.03 kg/d o 1.11 t/d

**TABLA 35: Generación de residuos en hospedajes.**

| Giro         | Área (m2) | Número de establecimientos | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación(kg/d) |
|--------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Restaurante  | 30-100    | 44                         | 2.51                              | 110.44           |
|              | 100-1000  | 165                        | 5.15                              | 849.75           |
|              | 1000      | 11                         | 13.44                             | 147.84           |
| <b>Total</b> |           |                            |                                   | <b>1108.03</b>   |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

#### 2.1.11.3.5. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MERCADOS

La generación diaria de residuos sólidos en mercados es de 3818.27 kg/d. o 3.82 t/d



**TABLA 36: Generación de residuos en mercados.**

| Mercado        | Generación(kg/d) |
|----------------|------------------|
| Central        | 788.13           |
| Laycacota      | 1442.75          |
| Bellavista     | 463.61           |
| Unión Dignidad | 1123.78          |
| <b>Total</b>   | <b>3818.27</b>   |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

### 2.1.11.3.6. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS

La generación diaria de residuos sólidos en instituciones educativas es de 2503.11kg/d o 2.5 t/d.

**TABLA 37: Generación de residuos en instituciones educativas.**

| Nivel de institución educativa | GPC (kg/alumno) | Generación (kg/d) |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| Inicial                        | 0.023           | 101.30            |
| Primaria                       | 0.059           | 1024.13           |
| Secundaria                     | 0.074           | 1043.07           |
| Nivel superior Técnico         | 0.074           | 334.61            |
| <b>total</b>                   |                 | <b>2503.11</b>    |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

### 2.1.11.3.7. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INSTITUCIONES

La generación diaria de residuos sólidos en instituciones es de 618.92 kg/d. o 0.62 t/d.

**TABLA 38: Generación de residuos en instituciones.**

| Generación de residuos en instituciones (kg/d) |
|--|
| 618.92   |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

### 2.1.11.3.8. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL BARRIDO DE CALLES

La generación diaria de residuos sólidos en el barrido de calles es de 2023.41 kg/d. o 2.02 t/d

**TABLA 39: Generación de residuos del barrido de calles.**

| Generación de residuos en barrido de calles(kg/d) |
|---|
| 2023.41   |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010.

### 2.1.11.4. GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS EN EL DISTRITO DE PUNO<sup>7</sup>

La generación total diaria de residuos sólidos en el distrito de Puno es de 79.27 t/d.

**TABLA 40: Generación total de residuos sólidos en distrito de Puno.**

| Generación de residuos por sector | Generación (t/d) |
|-----------------------------------|------------------|
| Domiciliario                      | 64.95            |
| Comercio                          | 1.360            |
| Restaurante                       | 2.89             |
| Hospedaje                         | 1.11             |
| Mercado                           | 3.82             |
| Instituciones educativas          | 2.50             |
| Instituciones                     | 0.62             |
| Barrido de Calles                 | 2.02             |
| <b>Total</b>                      | <b>79.27</b>     |

**Fuente:** Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno-Perú Waste Innovation S.A.C.-Lima, mayo 2010

La Generación Per Cápita domiciliaria del casco urbano de Puno es de 0.51 kg/hab/d y la generación Per cápita total es de 0.62 kg/hab/d.

En el caso de composición física de los residuos comerciales, el 73.99% son residuos aprovechables (donde está incluido el desecho de PVC); 15.43% son residuos peligrosos y 10.59% son residuos no aprovechables.

### 2.1.11.5. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN EL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA PROVINCIA DE PUNO

#### 2.1.11.5.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y NO MUNICIPALES

La generación total de residuos sólidos del ámbito municipal en la ciudad de Puno es de 93.14 t/d, tal como se aprecia en el siguiente tabla 41. (Municipalidad Provincial de Puno, 2013)

<sup>7</sup> Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del distrito de Puno-Perú WASTE INNOVATION S.A.C.-Lima, mayo 2010.

**TABLA 41: Generación de residuos sólidos municipales.**

| Generación de residuos por sector | Generación (kg/día) | Generación (t/día) |
|-----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Domiciliario                      | 71507.07            | 71.51              |
| Comercio                          | 3923.89             | 3.92               |
| Restaurante                       | 4660.49             | 4.66               |
| Hospedaje                         | 1716.65             | 1.72               |
| Mercado                           | 4899.41             | 4.90               |
| Instituciones educativas          | 2778.38             | 2.78               |
| Instituciones                     | 629.72              | 0.63               |
| Barrido de Calles                 | 3023.84             | 3.02               |
| <b>Total</b>                      | <b>93139.45</b>     | <b>93.14</b>       |

**Fuente:** Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Puno, 2013-2018.

Los residuos sólidos que no corresponden al ámbito de atención municipal como se presenta en la tabla 42, se tienen al hospital MNB, hospital ESSALUD, Clínica Puno y otros establecimientos de Servicio de categoría I, incluidos los centros y postas existentes, las cuales generan 0,266 T/día que representa el 0.3%, la cual significativamente en relación a la cantidad total generada en la ciudad de Puno (99.7%) no son importantes excepto por las características biocontaminantes del residuo.

**TABLA 42: Generación de residuos de ámbito no municipal.**

| Generación de Residuos Hospitalarios en la ciudad de Puno |                 |               |                 |                   |
|---|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Cantidad Semanal Acumulada Generada (kg/semana)           |                 |               |                 |                   |
| ESTABLECIMIENTO DE SALUD                                  | BIOCONTAMINADOS | ESPECIALES    | COMUNES         | TOTAL             |
| Manuel Núñez Butrón                                       | 441             | 45            | 395             | 881               |
| Hospital Es Salud   | 446             | 78            | 208             | 732               |
| Clínica Puno  | 13              | 0             | 16              | 29                |
| EE. SS. Categoría I y Otros                               | 80              | 0             | 136             | 216               |
| EE. SS. Categoría I y Otros                               | 980             | 123           | 755             | 1858              |
| EE. SS. Categoría I y Otros                               | 140             | 18            | 108             | 266               |
| <b>Generación diaria HRMNB (kg/día)</b>                   | <b>63 (50%)</b> | <b>6 (5%)</b> | <b>56 (45%)</b> | <b>125 (100%)</b> |

**Fuente:** Diagnóstico Basal de la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos de Generados en Establecimientos de Atención de Salud en las ciudades de Cusco, Juliaca, Puno y Arequipa SWISCONTACT, 2010.

**2.1.11.5.2. GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE PUNO**

**TABLA 43: Generación total de residuos sólidos municipales en la ciudad de Puno.**

| Generación / sector   | Generación estimada t/día |
|---|---------------------------|
| Generación Per cápita de Residuos sólidos municipales es de 0.69 Kg/hab/día |                           |
| Generación total de residuos sólidos municipales/día                        | 93,14                     |
| Generación total de residuos sólidos NO municipales/día                     | 0.266                     |
| <b>Generación total de residuos sólidos ciudad de Puno</b>                  | <b>93.406</b>             |

**Fuente:** Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Puno, 2013-2018.

La composición física, está representada de la siguiente forma: 77,9 % son residuos sólidos reaprovechables, 64,18% son materia orgánica potencialmente compostificable y

13.72% son residuos sólidos reciclables tales como papel, cartón, plástico, vidrio y metales, tal como se puede ver en la siguiente tabla 44.

**TABLA 44: Composición física de los residuos sólidos.**

| MATERIALES  | %            |
|---|--------------|
| <b><i>Residuos compostificables</i></b>                       | <b>64.18</b> |
| Materia Orgánica  | 61.38        |
| Madera, follaje   | 2.80         |
| <b><i>Residuos comerciales reciclables inorgánicos</i></b>    | <b>13.72</b> |
| Papel   | 1.64         |
| Plástico PET  | 1.84         |
| Plástico duro (PVC)   | 1.85         |
| Vidrio  | 2.47         |
| Cartón  | 3.76         |
| Metales ferrosos  | 1.73         |
| Caucho, cuero, jébe   | 0.42         |
| <b><i>Residuos reciclables inorgánicos No comerciales</i></b> | <b>6.40</b>  |
| Tetrapack   | 0.39         |
| Papel periódico   | 3.89         |
| Telas, textiles   | 2.11         |
| <b><i>Residuos No reciclables</i></b>                         | <b>3.81</b>  |
| Bolsas de despacho, envoltura de alimentos y otros similares  | 3.32         |
| Tecnopor y similares  | 0.49         |
| <b><i>Residuos domésticos peligrosos</i></b>                  | <b>8.76</b>  |
| Restos de medicina, focos, etc                                | 0.35         |
| Residuos de servicios higiénicos, Pañales descartables        | 8.41         |
| <b><i>Residuos domésticos inertes y otros</i></b>             | <b>3.13</b>  |
| Residuos inertes (tierra, porcelana, cenizas)                 | 1.02         |
| Otros.  | 2.12         |

Fuente: Estudio de Caracterización de Residuos sólidos, 2013.

De acuerdo a la tabla 44, existe una cantidad de residuos plásticos dentro de, estos se encuentran los desechos de Policloruro de Vinilo (desecho de PVC rígido, en donde están incluidos específicamente tuberías para conducción de agua potable, sanitarios y desechos de PVC utilizados para aislar y proteger cables eléctricos). Sin duda una de las fuentes más importantes en donde se acumula los desechos de PVC, son las obras Civiles que realizan el Gobierno Regional de Puno, Municipalidad Provincial de Puno, Oficina de Arquitectura y Contusiones (OAC) de la Universidad Nacional del Altiplano y demás empresas privadas.

En cuanto a los desechos de PVC, las encargadas de recolectarlas son empresas privadas, a las cuales pude visitar, en donde observe que existía una cantidad considerable de desechos de PVC acumulado. Las empresas mencionan que el desecho de PVC se

acumula debido a que el proceso de reciclado no es el mismo para este tipo de plástico, ya que este es muy contaminante y no se le puede mezclar con los demás tipos de plásticos. Es por este motivo que los desechos de PVC se encuentran acumuladas en grandes cantidades y no se le da un uso adecuado, por ende, se encuentran almacenadas. Además por tratarse de un material contaminante. Las empresas no realizan el reciclado y si lo hacen es limitado, trayendo como consecuencia que los desechos de PVC se encuentran acumulados en botaderos, domicilios, obras civiles, etc. Faltando una gestión adecuada de residuos sólidos, específicamente para los desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) para evitar problemas de contaminación ambiental (quemado y/o acumulado en botaderos u otros lugares)

La cantidad de desecho de Policloruro de Vinilo que se acumula según el “Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Puno, 2013-2018” mostrado en la tabla 44 se detalla a continuación.

La Generación de Residuos sólidos en la ciudad de Puno es de 93.406 Ton/día. De los cuales el 1.85% (1.73 Ton/día) representa a los residuos de Plástico duro (PVC rígido) lo que significa que se puede producir 1.73 Ton al día y multiplicando por el número de días que tiene el mes (30 días) es obtendría aproximadamente 52 Ton de desecho al mes. Lo que significa que se podría disponer de 624 Toneladas de desecho de Policloruro de Vinilo al año. El siguiente cuadro muestra un resumen de lo descrito:

**TABLA 45: Generación de Residuos Sólidos según Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos, 2013**

|   |                |                 |                  |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| La Generación de Residuos sólidos en la ciudad de Puno (100%)       | 93.406 Ton/día | 2802.18 Ton/mes | 33626.16 Ton/año |
| La Generación de Residuos sólidos, Plástico duro-PVC rígido (1.85%) | 1.73 Ton/día   | 52 Ton/mes      | 624 Ton/año      |

**Fuente:** Estudio de Caracterización de Residuos sólidos-2013.

Además, para saber la condición actual de cuanto de desecho de Policloruro de vinilo (PVC) se acumula y/o se podría adquirir, se hizo una encuesta a las principales empresas recicladoras del Distrito de Puno. Las encuestas se detallan a continuación.

**TABLA 46: Generación de Residuos Sólidos de desecho de PVC-Encuestas**

| Empresa recicladora                               | Propietario                         | DNI      | La Generación de Residuos sólidos, Plástico duro-PVC rígido por día. |
|---|-------------------------------------|----------|--|
| E.I.R.L. RESITEC DEL SUR.                         | Sr. Wilbert Ivan Zarate Mamani      | 01338300 | 6 Ton/día  |
| Empresa recicladora tierra limpia S.A.C.          | Sr. Raul Bejar Cosme                | 42308529 | 4 Ton/día  |
| Asociación de recicladores Cancharani-Puno.       | Sr. Hector Alberto Corymayhua Luque | 02045011 | 4 Ton/día  |
| Asociación de comerciantes recicladores.          | Sr. Teófilo Juli Monrroy            | 02367181 | 3 Ton/día  |
| Empresa de recicladora Virgencita de Chapi S.R.L. | Sra. Maria Quispe de Machaca        | 02383291 | 3 Ton/día  |

**Fuente:** Encuestas-Elaboración Propia, septiembre 2014.

La Tabla 46 muestra un resumen de la cantidad de desecho de Policloruro de Vinilo que se puede acular y/o adquirir. Según la encuesta realizada, se puede concluir que si existe una cantidad considerable de desecho de Policloruro de Vinilo que se puede generar, esto corroborando el resultado obtenido en la tabla 46. También las empresas mencionan que si abrieran más el mercado, no solo en la provincia de Puno, sino también en las provincias de Azangaro, Carabaya, El collao, Melgar, San Roman y por qué no en todo el Perú. Las cantidades de Desecho de desecho de Policloruro de Vinilo se incrementarían.

### **2.1.12. COMERCIALIZACIÓN DE DESECHOS (RESIDUOS) DE PVC EN LA PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO**

Las siguientes tablas muestran detalles de precios, en cuanto se ha estado comercializando los desechos de plástico (Plástico Duro - Policloruro de Vinilo rígido):

**TABLA 47: Listado de Precios (S/. por Kg.) de comercialización de residuos sólidos, 2009**

| DESCRIPCIÓN<br>(S/. POR KG) |           | ENERO A JULIO 2009 |               |              | JUL A DIC 2009   |
|-----------------------------|-----------|--------------------|---------------|--------------|------------------|
|                             |           | Provincias         | Lima          | Exporta      | Lima             |
| Papeles<br>y<br>Cartones    | De Color  | 0.03 - 0.50        | 0.13 - 0.87   | 0.30 - 96.14 | 0.30 - 0.35      |
|                             | Blanco    |                    |               |              | 0.50 - 1.20      |
|                             | Mixto     |                    |               |              | 0.10 - 0.30      |
|                             | Periódico |                    |               |              | 0.15 - 0.50      |
| Plásticos                   |           | 0.30 - 1.00        | 0.60 - 2.70   | 0.30 - 96.15 | 0.50 - 1.30      |
| Chatarra                    |           | 0.10 - 0.80        | 0.30 - 1.00   | 0.30 - 42.40 | 0.45 - 0.70      |
| Metales                     | Aluminio  | 2.50 - 3.00        | 3.00 - 4.00   | 2.70 - 5.30  | 2.40 - 3.60      |
|                             | Cobre     | 5.00 - 10.00       | 7.00 - 12.00  | 8.00 - 16.70 | 6.50 - 13.00     |
|                             | Bronce    | -                  | -             | -            | 6.50 - 8.00      |
|                             | Fierro    | -                  | -             | -            | 0.80 - 1.50      |
|                             | Acero     | -                  | -             | -            | 3.00 - 4.00      |
|                             | Plomo     | -                  | -             | -            | 2.50 - 3.00      |
| Vidrio                      |           | 1.20 - 1.50 *      | 2.00 - 2.20 * | 0.30 - 1.30  | 1.10 - 1.40      |
| Madera                      |           | -                  | -             | -            | 30.00 - 32.00 ** |

(\*) Precio por docena (\*\*) Precio por 100 palos

Fuente: Informe Anual de Residuos Sólidos municipales en el Perú, 2009.

**TABLA 48: Precios referenciales de Residuos Sólidos Reaprovechables (No incluye IGV), 2010-2011**

| Descripción                  | Especificaciones                      | Unidad de medida | Precio Unitario 2010 (S/.) | Precio Unitario 2011 (S/.) | Fuente:                             |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Residuos de Cartón           | Lima Metropolitana                    | kg               | 0.25                       | 0.25                       | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Residuos de plástico no PET  | Lima Metropolitana                    | kg               | 0.75                       | 0.75                       | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Residuos de plástico PET     | Lima Metropolitana                    | kg               | 1                          | 1                          | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Papel Blanco                 | Lima Metropolitana                    | kg               | 1                          | 1                          | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Chatarra de Hierro - Liviano | Lima Metropolitana                    | kg               | 0.6                        | 0.6                        | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Chatarra de Hierro - Pesado  | Lima Metropolitana                    | kg               | 0.7                        | 0.7                        | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Chatarra de cobre            | Lima Metropolitana                    | kg               | 20                         | 20                         | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Chatarra de Aluminio         | Lima Metropolitana                    | kg               | 4                          | 4                          | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Batería Agotada              | Drenada (sin ácido)                   | kg               | 2.7                        | 3                          | EC-RS A&F<br>FUNMET SAC             |
| Mezcla oleosa Reaprovechable | Puesto en Planta (Lima Metropolitana) | gal              | 2.18                       | 2.18                       | EC-RS<br>COMBUSTIBLES<br>WILLY EIRL |
| Aceite Mineral Usado         | Puesto en Planta (Lima Metropolitana) | gal              | 1.6                        | 1.8                        | EC-RS<br>COMBUSTIBLES<br>WILLY EIRL |
| Llantas usadas Camión        | 12 x 22", 12x20" ó 12X24"             | unidad           | 5                          | 6                          | EC-RS<br>COMBUSTIBLES<br>WILLY EIRL |

**Fuente:** OSCE, portal internet [www.digesa.minsa.gob.pe](http://www.digesa.minsa.gob.pe) (EPS-RS y EC-RS).



**TABLA 49: Precios referenciales de Residuos Sólidos Reaprovechables (No incluye IGV), 2011-2012**

| Descripción                  | Especificaciones    | Unidad de medida | Precio Unitario 2011 (S/.) | Precio Unitario 2012 (S/.) |
|------------------------------|---------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| Residuos de Cartón           | Lima Metropolitana  | kg               | 0.25                       | 0.3                        |
| Residuos de plástico no PET  | Lima Metropolitana  | kg               | 0.75                       | 1.6                        |
| Residuos de plástico PET     | Lima Metropolitana  | kg               | 1                          | 1.4                        |
| Papel Blanco                 | Lima Metropolitana  | kg               | 1                          | 0.8                        |
| Chatarra de Hierro - Liviano | Lima Metropolitana  | kg               | 0.6                        | 0.61                       |
| Chatarra de Hierro - Pesado  | Lima Metropolitana  | kg               | 0.7                        | 0.67                       |
| Chatarra de cobre            | Lima Metropolitana  | kg               | 20                         | 16.835                     |
| Chatarra de Aluminio         | Lima Metropolitana  | kg               | 4                          | 2.5                        |
| Batería Agotada              | Drenada (sin acido) | kg               | 17.400                     | 21                         |

**Fuente:** EPS-RS, centros de acopio de residuos reciclables en Lima Metropolitana - Ministerio del Ambiente, 2012.

De la misma forma se realizó visitas a las empresas que reciclan, comercializan y exportan desechos (residuos) de plásticos en donde están incluidos los desechos de PVC. La mayoría de las empresas comercializadoras y exportadoras de residuos se encuentran ubicados en la periferia de la Provincia de Puno-Distrito de Puno. Las empresas ubicadas, aparte de la mencionada E.I.R.L. RESITEC DEL SUR, son las siguientes:

NOMBRE DE EMPRESA : Empresa recicladora tierra limpia S.A.C.

RUC : 20448147577

ESTADO DE LA EMPRESA: Activo

DIRECCIÓN PRINCIPAL : Jr. 28 de julio #223 referencia de ubicación a espaldas de planta eléctrica 3er piso población Puno / Puno / Puno.

NOMBRE DE EMPRESA : Asociación de recicladores Cancharani-Puno.

RUC : 20448471757

ESTADO DE LA EMPRESA: Activo

DIRECCIÓN PRINCIPAL : Población Puno / Puno / Puno.

NOMBRE DE EMPRESA : Asociación de comerciantes recicladores.

RUC : 20448255973

DIRECCIÓN PRINCIPAL : Jr. 5 de abril #284 referencia de ubicación - población Puno / Puno / Puno.

NOMBRE DE EMPRESA : Empresa de recicladora Virgencita de Chapi S.R.L.

RUC : 20448214517

DIRECCIÓN PRINCIPAL : Salcedo, referencia de ubicación a 1 cdra. Del INIA cartel población Puno / Puno / Puno.

El costo de comercialización de desechos plásticos en donde están incluidos los desechos de Policloruro de Vinilo, según las empresas encuestadas se detallan en la siguiente tabla 50.

**TABLA 50: Costos de comercialización de Residuos Plásticos-Desechos de Policloruro de Vinilo**

| Empresa recicladora                               | Propietario                         | DNI      | Costo de comercialización |
|---|-------------------------------------|----------|---------------------------|
| E.I.R.L. RESITEC DEL SUR.                         | Sr. Wilbert Ivan Zarate Mamani      | 01338300 | 1.10 soles/kg             |
| Empresa recicladora tierra limpia S.A.C.          | Sr. Raul Bejar Cosme                | 42308529 | 1 soles/kg                |
| Asociación de recicladores Cancharani-Puno.       | Sr. Hector Alberto Corymayhua Luque | 02045011 | 0.8 soles/kg              |
| Asociación de comerciantes recicladores.          | Sr. Teófilo Juli Monroy             | 02367181 | 1 soles/kg                |
| Empresa de recicladora Virgencita de Chapi S.R.L. | Sra. Maria Quispe de Machaca        | 02383291 | 1.20 soles/kg             |
| <b>PRECIO PROMEDIO</b>                            |                                     |          | <b>1.02 soles/kg</b>      |

**Fuente:** Encuestas-Elaboración Propia, septiembre 2014.

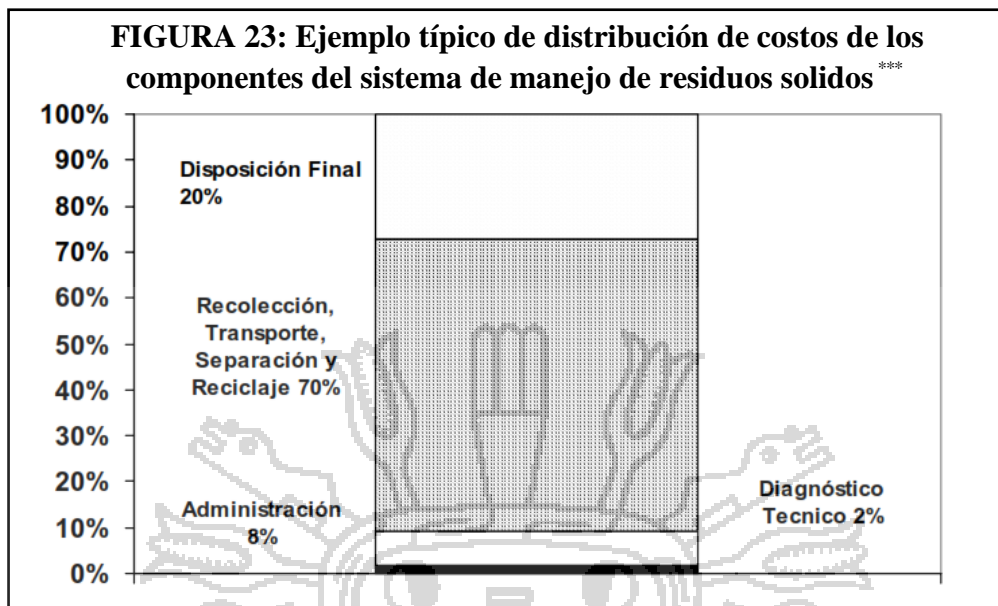
Según la “Guía para el manejo de Residuos Municipales enfoque para centro América, 2003. Las categorías de costos más utilizadas para el manejo de residuos sólidos son:

- Administración (incluye planificación y participación comunitaria)
- Barrido
- Recolección
- Transferencia
- Tratamiento (reciclaje y compostaje)
- Disposición final y clausura.

Es importante estimar y presupuestar los costos de la planificación. En algunas municipalidades la planificación se programa dentro del presupuesto anual, en otras se realiza con la asistencia de instituciones financieras.

Típicamente la suma de costos del barrido, recolección, transferencia, reciclaje y compostaje representan 60 a 80% del costo de operación anual. Estos gastos deben incluir los de operación y mantenimiento de rutina más un costo anualizado para la compra de nuevos equipos y vehículos. Se debe considerar el precio del vehículo nuevo y calcular el pago mensual para cubrir la amortización y los intereses.

Los costos relacionados con el servicio de disposición final incluyen el costo de diseño, la compra del terreno, el costo de las instalaciones, los costos de operación y mantenimiento, y los costos de los vehículos de compactación y tractores. Es aconsejable considerar el costo de clausura con anticipación; idealmente se debería establecer una reserva de fondos en el banco para la etapa de clausura y post clausura, y monitoreo del sitio. La siguiente figura muestra una distribución típica de estos costos.



\*\*\* **Fuente:** Manual de procedimientos para el manejo y actualización de costos de sistemas de residuos sólidos municipales. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), México, 1995.

**TABLA 51: Costos típicos de manejo de Residuos Sólidos- Desechos de Policloruro de Vinilo**

| <i>Indicador</i>                                       | <i>Unidad</i>   | <i>Rango típico</i>    |
|--|-----------------|------------------------|
| Barrido de calles, mecánico                            | Soles/km.       | 0.25 a 0.50            |
| Gerencia y planificación                               | Soles/kg        | 0.0057 a 0.0200        |
| Costo de recolección                                   | Soles/kg        | 0.0428 a 0.1140        |
| Costo de disposición en el relleno sanitario           | Soles/kg        | 0.0200 a 0.0342        |
| Costo total de recolección y disposición (sin barrido) | Soles/kg        | 0.0684 a 0.1995        |
| <b>Costo Total</b>                                     | <b>Soles/kg</b> | <b>0.3869 a 0.8677</b> |

**Fuente:** Guido Acurio, Antonio Rossin, Paulo Fernando Teixeira, Francisco Zepeda. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. BID y OPS, 1998.

Así mismo la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) en el “Estudio sobre el Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos, 1999”, en su ítem 3.3.5 pág. 27, muestra de cómo se determina el costo unitario del manejo de Residuos Sólidos en el DF, 1999. Según el siguiente detalle.

**Inversión de capital**

|   |             |
|---|-------------|
| Planta de reciclaje                         | 2.7         |
| Estaciones de transferencia (13 unidades)*1 | 13.6        |
| Sitio de disposición final                  | 0.5         |
| <b>Sub total</b>                            | <b>16.8</b> |

**Costos concurrentes**

|   |             |
|---|-------------|
| Recolección   | 16.1        |
| Estaciones de Traserencia (13 unidades)                 | 13.9        |
| Plantas de Reciclaje (P/S, tres unidades)               | 4.6         |
| Sitio de disposición final (3)                          | 3.2         |
| Disposicion de desgaste ilegal (Tiraderos clandestinos) | 18.2        |
| Limpieza de vías principales                            | 0.7         |
| <b>Sub total</b>  | <b>37.8</b> |

**Costos ocultos (propinas)**

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Propinas de hogares     | 8.1         |
| Fincas de las entidades | 25.8        |
| <b>Sub total</b>        | <b>33.9</b> |

**“COSTO UNITARIO GLOBAL” del MRS, US\$/ton/año/precio 98**

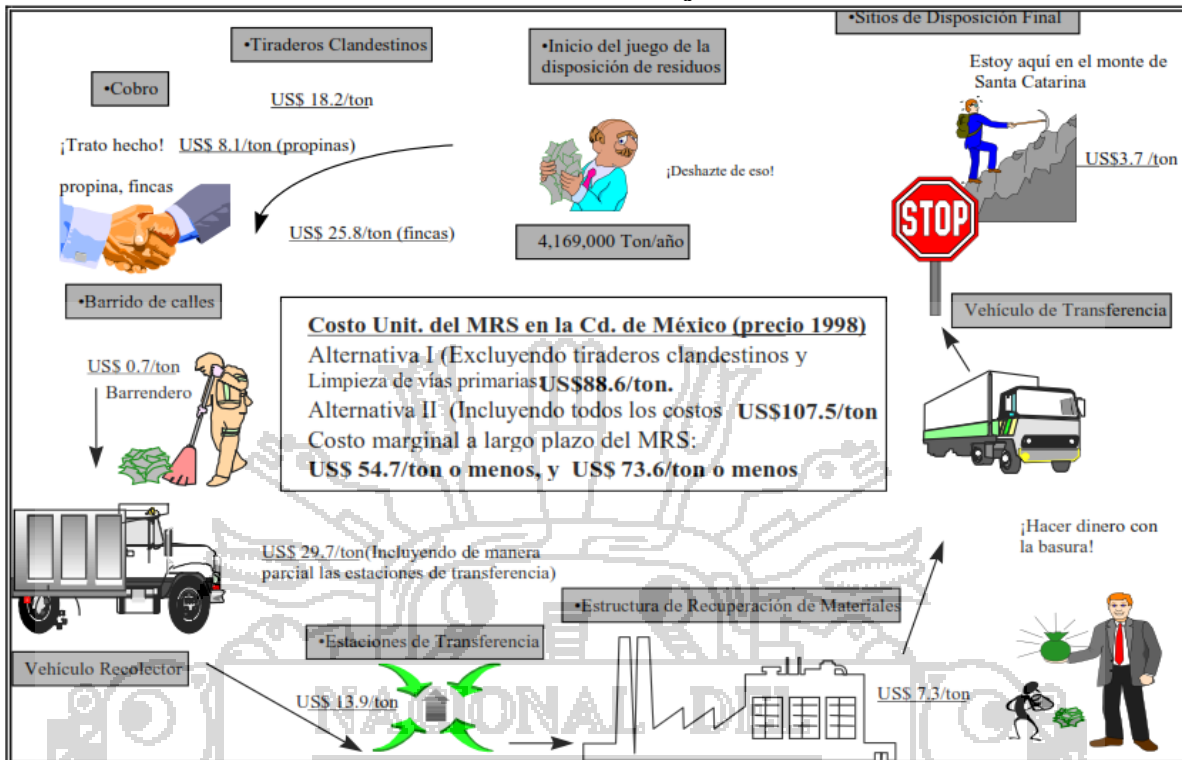
Alternativa 1: sin tiraderos clandestinos y limpieza

De vías principales **82.6 US\$/ton/año (240 soles/ton)**

Alternativa 2: incluye todos los factores de costo **107.5 US\$/ton/año (310 soles/ton)**  
(Incluyendo las rutas y tráileres en servicio)

La siguiente figura muestra de manera ilustrativa los costos Unitarios del manejo de Residuos Sólidos.

**FIGURA 24: Costos Unitarios de Manejo de Residuos Sólidos**



**Fuente:** Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) en el “Estudio sobre el Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicano, 1999.

Tomando en cuenta los antecedentes mencionados en las tablas 47, 48, 49 y 50 se determinó el costo unitario de Desecho de Policloruro de Vinilo por un (01) kilogramo.

$$\text{Costo promedio de Desecho de Policloruro de Vinilo} = \frac{1 + 0.75 + 1.6 + 1.02}{4} = 1.10 \text{ soles/kg}$$

**TABLA 52: Precio Unitario de desecho de Policloruro de Vinilo por Kilogramo**

| INDICADOR   | UNIDAD          | PRECIO      |
|---|-----------------|-------------|
| Diagnostico Técnico (2%)                            | Soles/kg        | 0.022       |
| Administración (8%)                                 | Soles/kg        | 0.088       |
| Recolección, Trasporte separación y Reciclaje (70%) | Soles/kg        | 0.77        |
| Disposición final (20%)                             | Soles/kg        | 0.22        |
| <b>Total (100%)</b>                                 | <b>Soles/kg</b> | <b>1.10</b> |

**Fuente:** Elaboración propia.

Las empresas recolectan el desecho de PVC en los lugares de acopio, y *realizan la comercialización de desecho de PVC a S/. 1.10 nuevos soles el Kilo. (Desechos de Policloruro de Vinilo rígido, en donde están incluidos específicamente tuberías para conducción de agua potable, sanitarios y desechos de PVC utilizados para aislar y proteger cables eléctricos).*

Es claro que la disposición de desechos de Policloruro de Vinilo es limitado, esto en consecuencia, a que no se le ha dado importancia alguna para ser reciclado, y no se ha realizado un estudio exhaustivo de cuanto desecho de Policloruro de Vinilo se puede acumular, pero, con este tipo de proyectos se puede afianzar su reciclado y obtener grandes cantidades de desecho de Policloruro de Vinilo, puesto que en nuestro distrito de Puno, Región y en todo el Perú se proyecta un crecimiento del 9% en su sector de la construcción para el presente año, frente a la expansión del 8,5% registrada en 2013, anunció el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Milton von Hesse (América Economía, 2014, s/n). Es decir la industria de la construcción se encuentra en pleno auge, y es precisamente en, este sector de donde principalmente se pueden obtener desechos de Policloruro de Vinilo en grandes cantidades, creando entidades y/o empresas que se dediquen exclusivamente al reciclado del Desecho de Policloruro de Vinilo (PVC).

## 2.2. HIPÓTESIS

El desecho de Policloruro de Vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

## 2.3. SISTEMA DE VARIABLES

**TABLA 53: Sistema de variables.**

| VARIABLE                                | DIMENSIÓN                    | INDICADOR                               |
|---|------------------------------|---|
| VARIABLE INDEPENDIENTE                  |                              |   |
| Desecho de Policloruro de Vinilo. (PVC) | Peso específico (Porcentaje) | Volumen.<br>Peso.                       |
| VARIABLE DEPENDIENTE                    |                              |   |
| Propiedades mecánicas del suelo.        | Propiedades Mecánicas.       | Proctor Modificado<br>CBR.<br>Abrasión. |

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. TIPO

El presente trabajo de investigación corresponde al *tipo experimental*, dado que se realizará la simulación real en laboratorio del efecto del desecho de Policloruro de Vinilo en el suelo. En el experimento se manipulará la variable independiente, desecho de Policloruro de Vinilo en incrementos progresivos hasta observar las variaciones que se presentan a las propiedades mecánicas del suelo (variable dependiente).

##### 3.1.2. DISEÑO

El *diseño de investigación* correspondiente es de 04 grupos con tratamiento múltiple y con post prueba únicamente.

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

*La población* de la investigación está constituida por las canteras (Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi) utilizadas para los proyectos de carreteras de la Región de Puno-Provincia de Puno-Distrito de Puno.

*La muestra* utilizada en la investigación, es el material (suelo) de las 3 canteras de mayor potencia y utilización en los proyectos de carreteras.

#### 3.3. MATERIALES

##### 3.3.1. DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

En el departamento de Puno-Provincia de Puno-Distrito de Puno, existen varias empresas dedicadas al reciclado de diferentes productos plásticos. Dentro de estas, se encuentra la empresa RESITEC DEL SUR E.I.R.L., dedicada al reciclado de una variedad de plásticos tal como pueden evidenciar las siguientes imágenes:





IMAGEN 13: RESITEC DEL SUR E.I.R.L.



IMAGEN 14: Acumulación de diferentes tipos de plásticos.



IMAGEN 15: Acumulación de diferentes tipos de plásticos.

Dentro de estas acumulaciones de plástico se encuentran los desechos de PVC (en donde están incluidos específicamente tuberías para conducción de agua potable, sanitarios y desechos de PVC utilizados para aislar y proteger cables eléctricos).



**IMAGEN 16: Desechos de PVC.**



**IMAGEN 17: Acumulación de desechos de PVC.**

Al momento de realizar las indagaciones, para la obtención del desecho de PVC, la empresa RESITEC DEL SUR E.I.R.L., nos indicó que para el reciclado de los diferentes tipos de plásticos se realiza la trituración de, estos a diámetros de aproximadamente 1", sin embargo, para la realización de los ensayos en laboratorio se le solicitó realizar la trituración a diámetros pasantes la malla N° 3/4", ya que es común

el uso de, este diámetro para la realización del ensayo Proctor Modificado desde el método C hasta el método B y A dependiendo al método correspondiente.



**IMAGEN 18: Máquina trituradora de desechos plásticos - RESITEC DEL SUR E.I.R.L.**



**IMAGEN 19: Muestra triturada de desechos de PVC.**

Una vez obtenido el desecho de PVC triturado, y de acuerdo a los diámetros que se me brindó, una de las primeras condiciones para el inicio de la experimentación fue la de utilizar desechos de PVC, pasantes la malla N° 4 y retenidos en la malla N° 10; ya que en estos diámetros las cantidades obtenidas eran considerables. También se decidió utilizar el desecho de PVC en los diámetros pasantes malla N°3/4" y retenido en la malla N°3/8", ya que también en estos diámetros las cantidades eran considerables.



**IMAGEN 20: Tamizado del desecho de PVC: retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.**

### **3.3.1.1. ASPECTOS SOBRE LA APLICACIÓN DEL DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO**

- La muestra de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) utilizado en la experimentación fue: desechos de Policloruro de Vinilo rígido, en donde están incluidos específicamente tuberías para conducción de agua potable, sanitarios y desechos de PVC utilizados para aislar y proteger cables eléctricos.
- La muestra de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) utilizados en la experimentación fue las pasantes a la malla N° 4 y retenidas en la malla N° 10. Como también muestras de desecho de PVC pasantes la malla N° 3/4" y retenidos en la malla N° 3/8".
- El desecho de Policloruro de Vinilo para la experimentación, pasó por un tratamiento de limpia, para que estuviese libre de grasas y sustancias extrañas para su incorporación en los ensayos de laboratorio.
- El desecho de PVC, deberá ser uniforme evitando la contaminación de otros tipos de plásticos.
- Se tuvo cuidado que los desechos de Policloruro de Vinilo tenga uniformidad en cuanto a los diámetros utilizados, para evitar variaciones en los ensayos de laboratorio.
- Al momento de manipular el desecho de Policloruro de Vinilo (PVC), se utilizó implementos de seguridad como: guante, protector contra el polvo.

### 3.3.2. MATERIAL DE CANTERA

#### A. Localización de Canteras

El reconocimiento de fuentes de aprovisionamiento de materiales para la presente investigación, se realizó a lo largo del sector de estudio, habiéndose ubicado bancos de materiales, con la finalidad de determinar su calidad para ser empleados en la investigación.

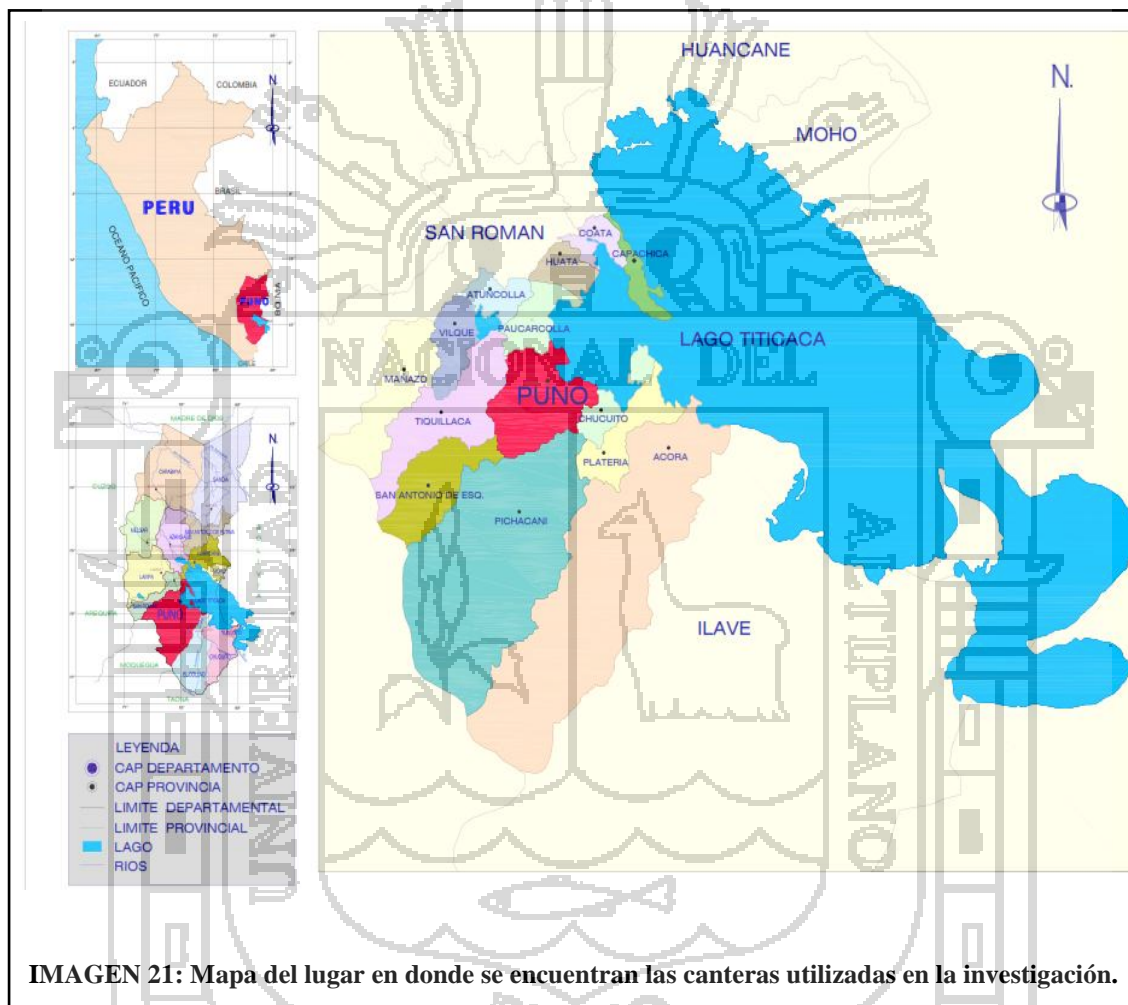


IMAGEN 21: Mapa del lugar en donde se encuentran las canteras utilizadas en la investigación.

Las canteras de donde se tomó las muestras representativas para su aplicación en la presente investigación, son las que ofrece la microcuenca de Puno (Provincia de Puno-Distrito de Puno) como alternativas de uso de material, que sirven para la conformación de Base y Sub Base de pavimentos y/o pistas, las cuales se detallan a continuación:

#### A.1. Cantera Salcedo

- a) **Ubicación.-** A 3 (tres) kilómetros al Sur de la ciudad de Puno, ubicándose al pie y en ladera del cerro Pitiquilla.
- b) **Acceso.-** El acceso es normal durante todas las épocas del año, tomando la Avenida del Estudiante (pavimentada) hacia el lado derecho en 1 (uno) kilómetro de afirmado.
- c) **Situación Legal.-** Esta cantera es propiedad de la Municipalidad Menor de Salcedo – Puno.
- 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:**

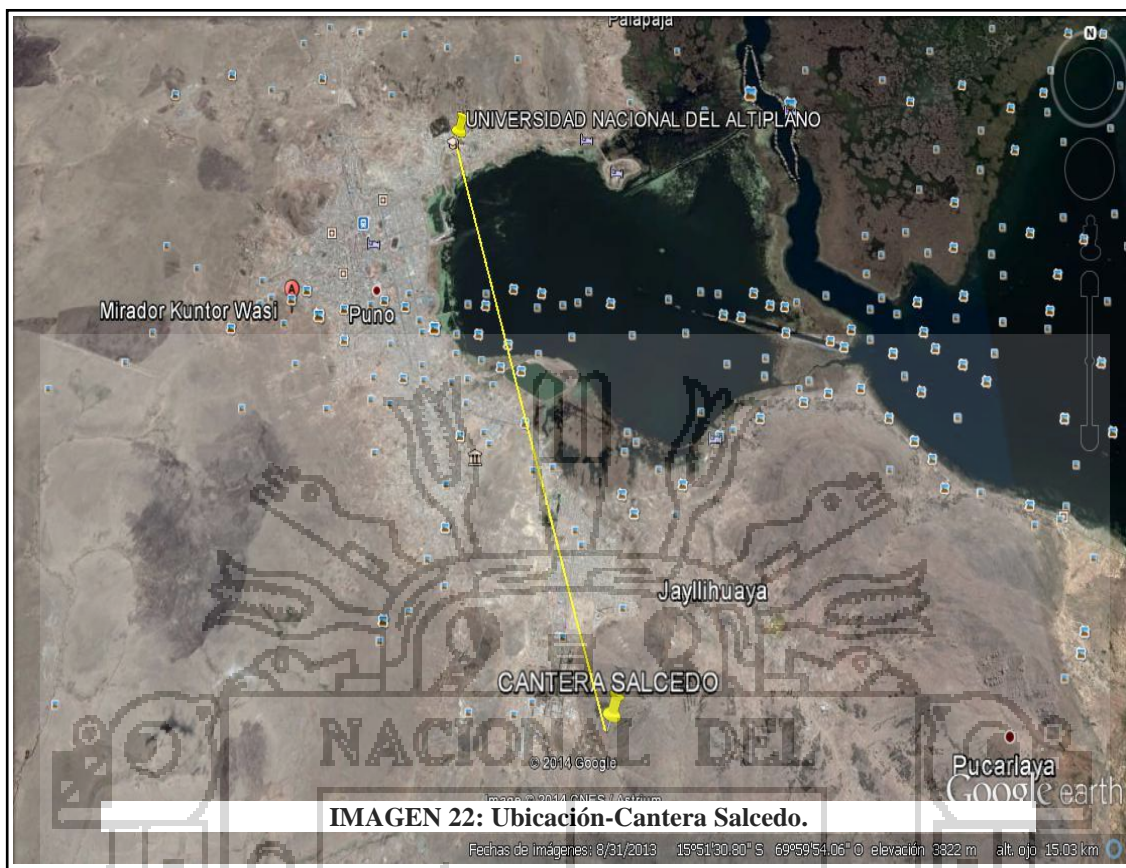
$$P.B. = (95\text{m} \times 115\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.20) = 19,665.00\text{ m}^3 = 100\%$$

f) **Potencia Neta:**

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

$$P.N. = 19,665.00\text{ m}^3 - 2,622.80\text{m}^3 = 17,042.20\text{m}^3$$

$$P.N. = (17,042.20/19,665.00) = 87\%$$



Fuente: Imagen – Google Earth

## A.2. Cantera Jallihuaya

- a) **Ubicación.-** A 7 (siete) kilómetros al Sur Oeste de la ciudad de Puno, cercano al poblado de Jallihuaya.
- b) **Acceso.-** El acceso es normal durante todas las épocas del año, puesto que tiene una vía con pavimento flexible en 6 (seis) kilómetros y 1 (uno) kilómetro de afirmado.
- c) **Situación Legal.-** Esta cantera es propiedad del Centro Poblado de Jallihuaya.
- 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 (0.18m), considerando un factor de esponjamiento (1.20); se tiene el siguiente resultado estimado:

**e) Potencia Bruta:**

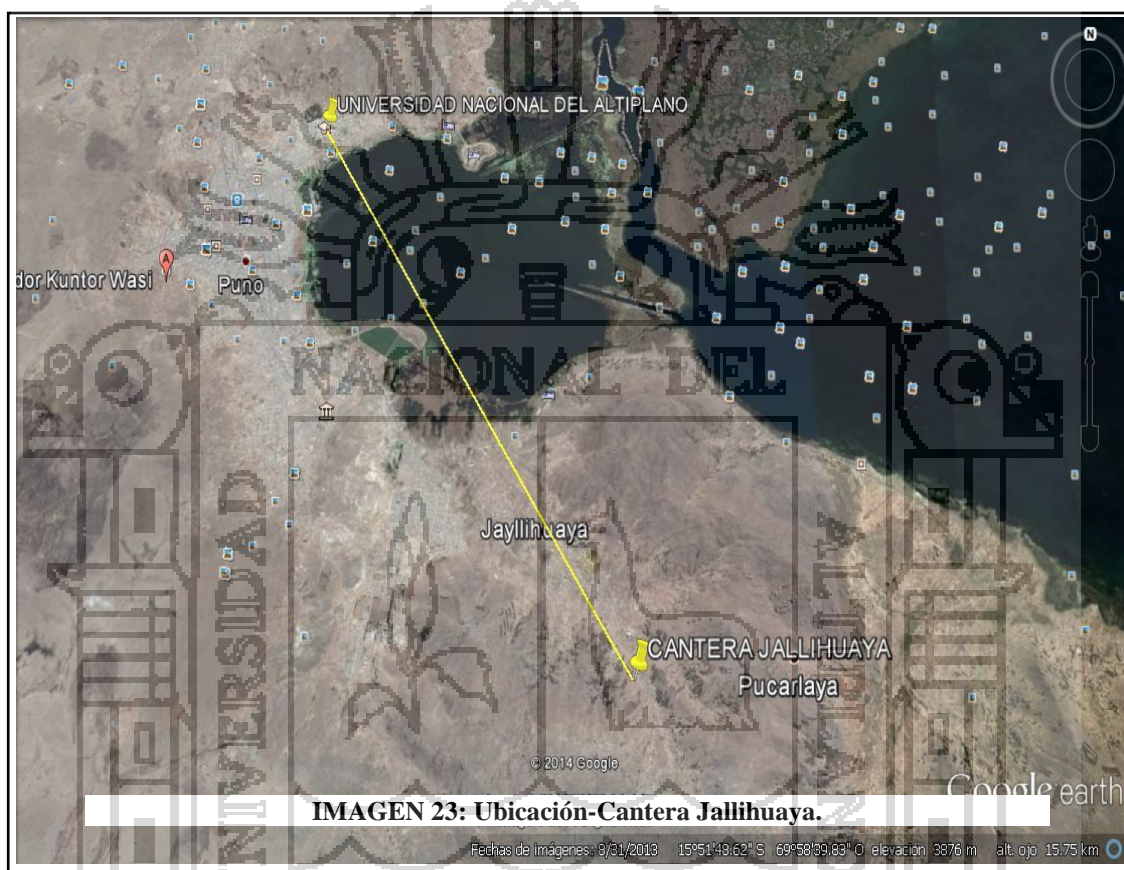
$$P.B. = (340\text{m} \times 270\text{m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.20) = 165,240.00 \text{ m}^3 = 100\%$$

**f) Potencia Neta:**

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

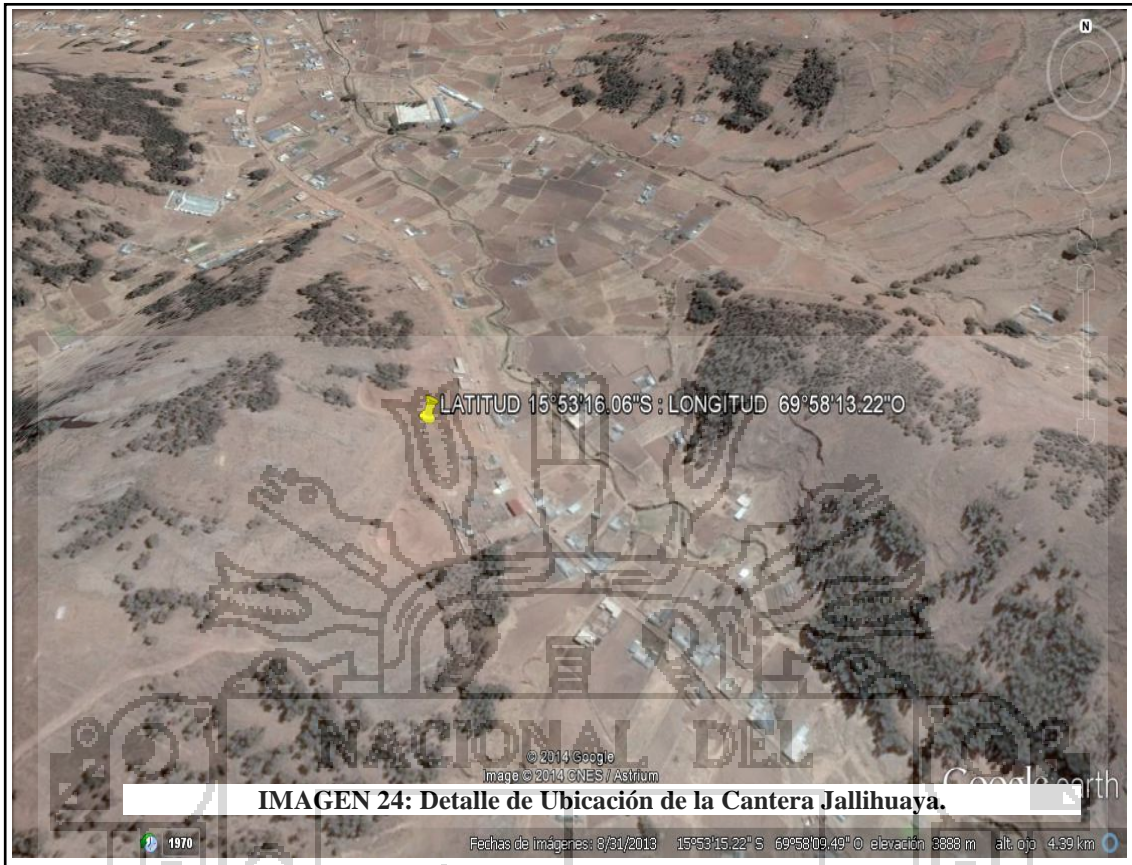
$$P.N. = 165,240.00 \text{ m}^3 - 19,828.80\text{m}^3 = 145,411.20\text{m}^3$$

$$P.N. = (145,411.20/165,240.00) = 88\%$$

**IMAGEN 23: Ubicación-Cantera Jallihuaya.**

Fuente: Imagen – Google Earth

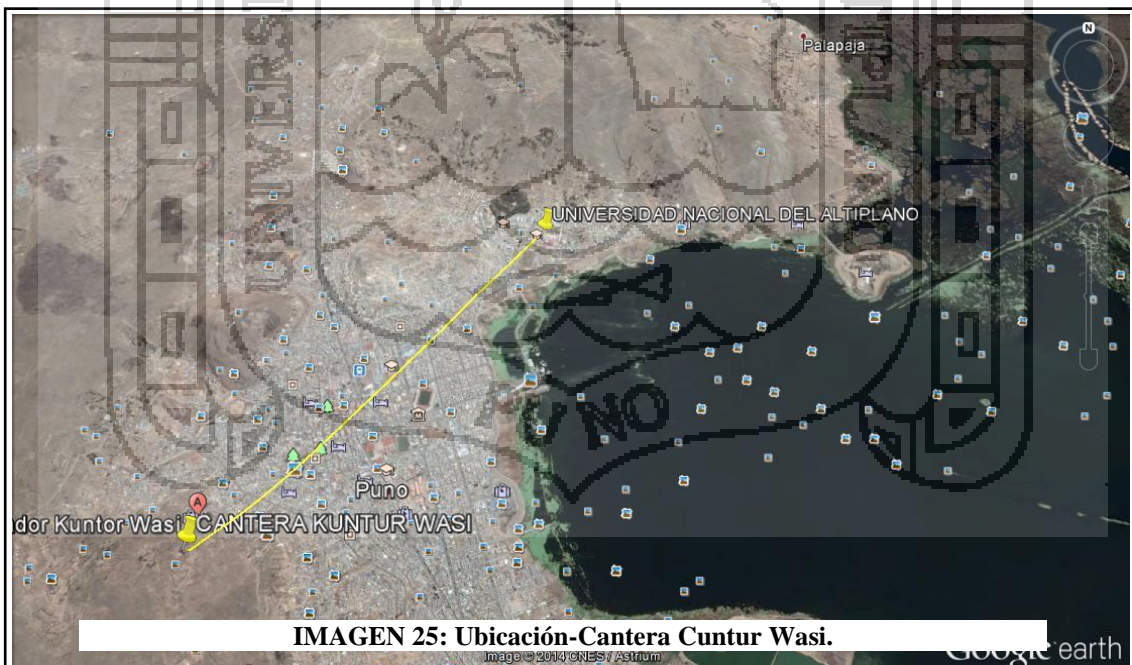




**IMAGEN 24: Detalle de Ubicación de la Cantera Jallihuaya.**

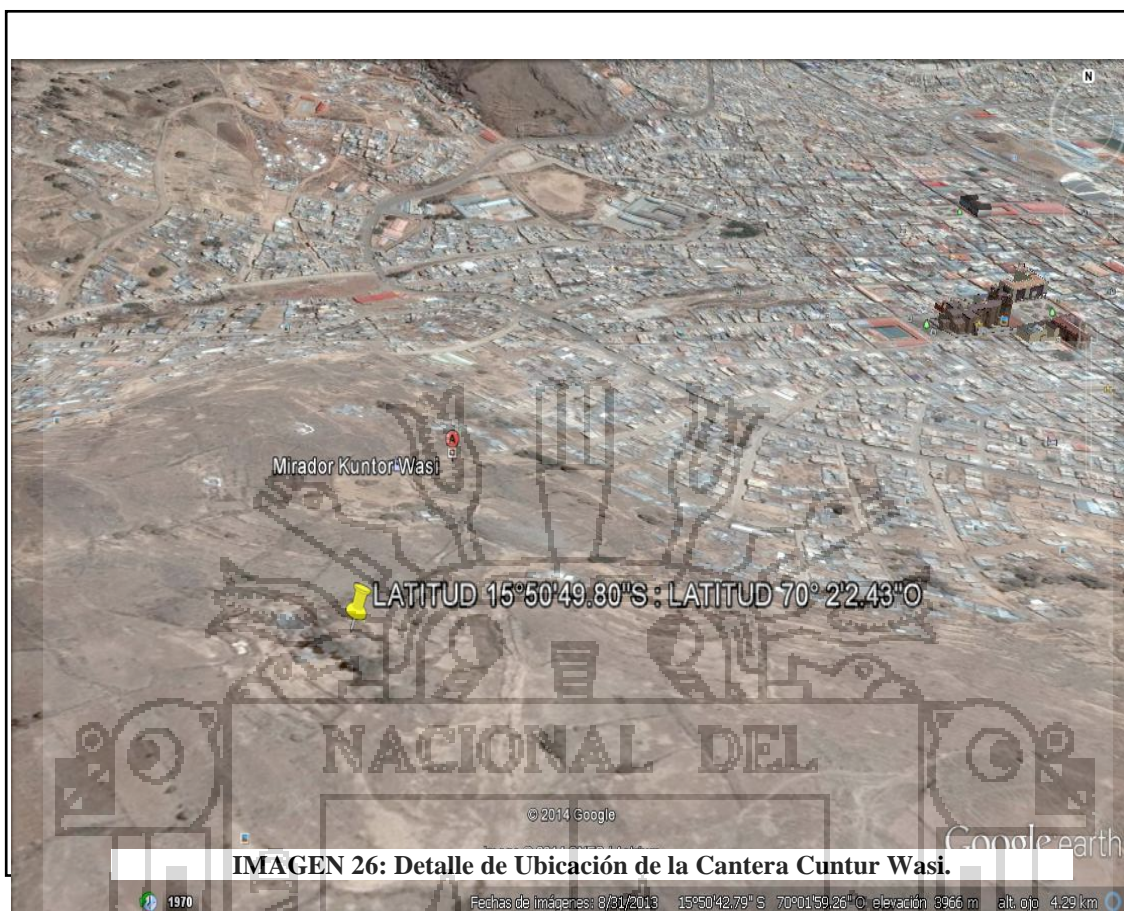
Fuente: Imagen – Google Earth

**A.3. Cantera Cuntur Wasi**



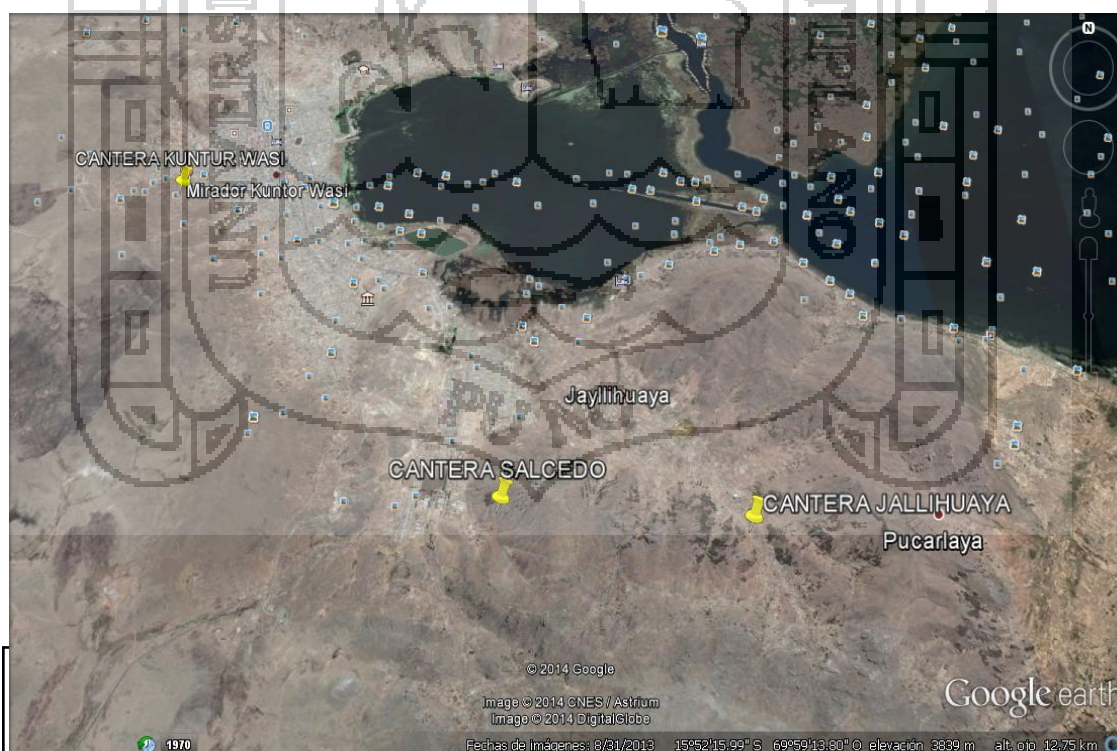
**IMAGEN 25: Ubicación-Cantera Cuntur Wasi.**

Fuente: Imagen – Google Earth



**IMAGEN 26: Detalle de Ubicación de la Cantera Cuntur Wasi.**

Fuente: Imagen – Google Earth



**IMAGEN 27: Detalle de Ubicación de las Canteras utilizadas en la investigación.**

Fuente

e: Imagen – Google Earth

Las canteras elegidas para realizar la presente investigación tuvieron relevancia debido a que, son las que más se usan en proyectos carreteros y/o pistas en la Provincia-Distrito de Puno (Laboratorio de Suelos-Municipalidad Provincial de Puno, 2014).

### 3.4. MÉTODO

#### 3.4.1. TRABAJOS DE CAMPO

En los trabajos de campo, se realizó los trabajos de toma de muestras de las canteras anteriormente mencionadas, para lo cual se eligió dos maneras de muestreo: para el primer tipo de muestreo, se realizó calicatas en zonas aun no alteradas, el 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 además un área de fondo adecuado como para que al momento de sacar el material, pueda maniobrar 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.<sup>8</sup>

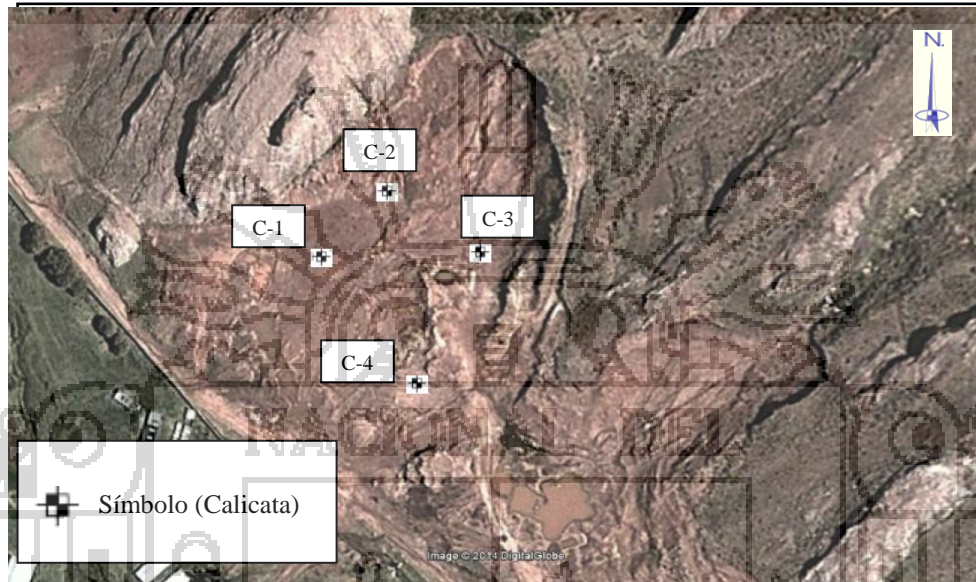
Para el segundo tipo de muestreo, la muestra fue extraída de los taludes de corte visible de las canteras, puesto que actualmente están en explotación. Se obtuvo muestras inalteradas en cantidades significativas, remitiéndose a laboratorio para su análisis respectivo, se tomaron muestras inalteradas y alteradas de un total de aproximadamente 400 Kg. (Por cantera) para estudios de clasificación, límites de consistencia, Próctor, CBR y Abrasión.

---

<sup>8</sup> Universidad Nacional de Ingenierías - Fac. Ingeniería Civil. Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2006.

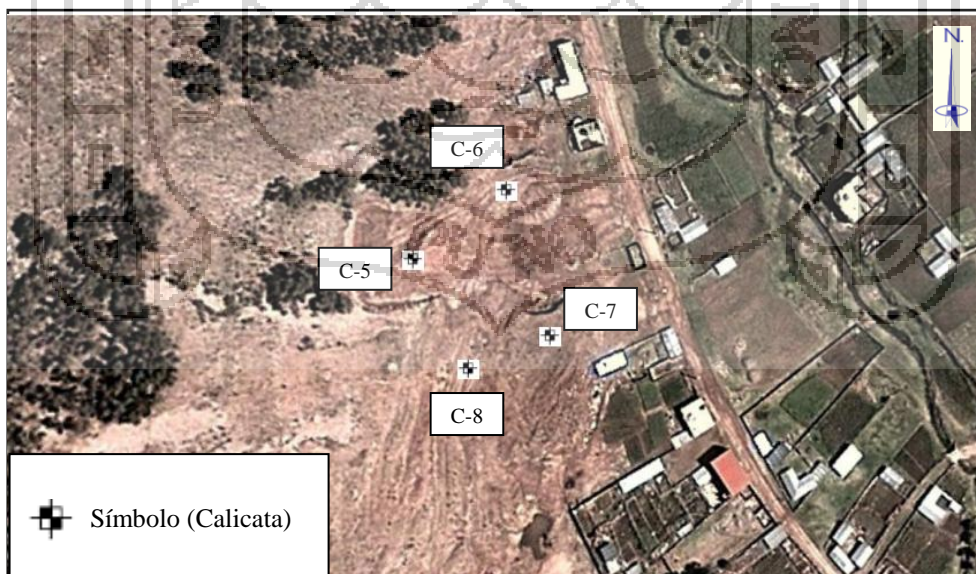
Como parte del programa de exploración geotécnica se realizaron las siguientes tareas:

En la cantara salcedo, se realizaron 04 calicatas denominadas C-1, C-2, C-3 y C-4 de 1.5m de profundidad, de los cuales se obtuvieron aproximadamente 200Kg. de muestra inalterada, estos se encuentran ubicadas tal como muestra la siguiente imagen:



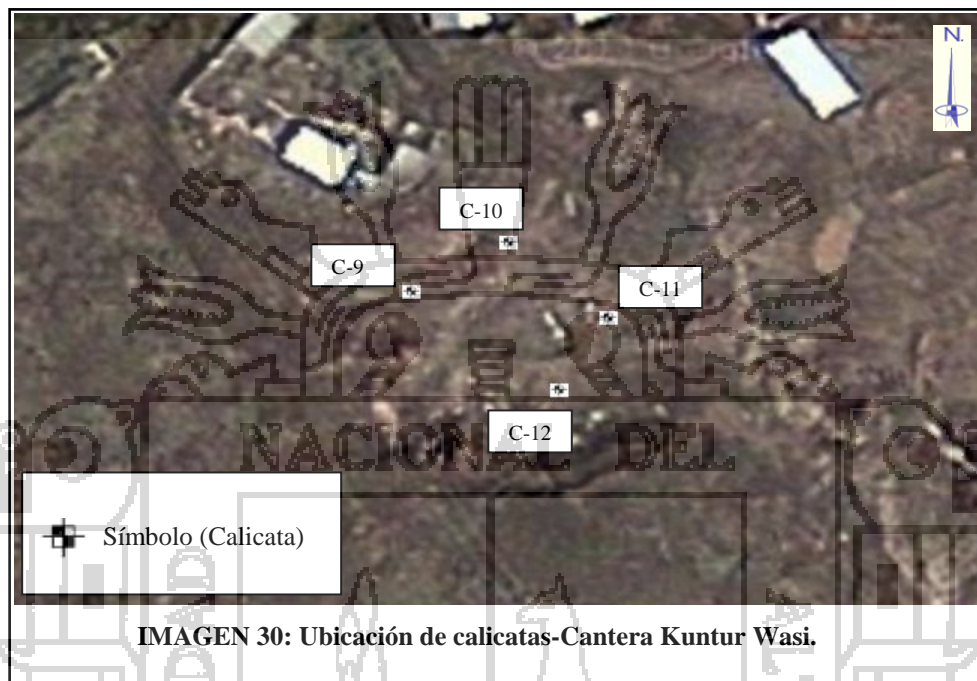
**IMAGEN 28: Ubicación de calicatas-Cantera Salcedo**

De la misma forma en la Cantera Jallihuaya, se realizaron 04 calicatas denominadas C-5, C-6, C-7 y C-8 de 1.5m de profundidad, de los cuales se obtuvieron aproximadamente 200Kg. de muestra inalterada, estos se encuentran ubicadas tal como muestra la siguiente imagen:

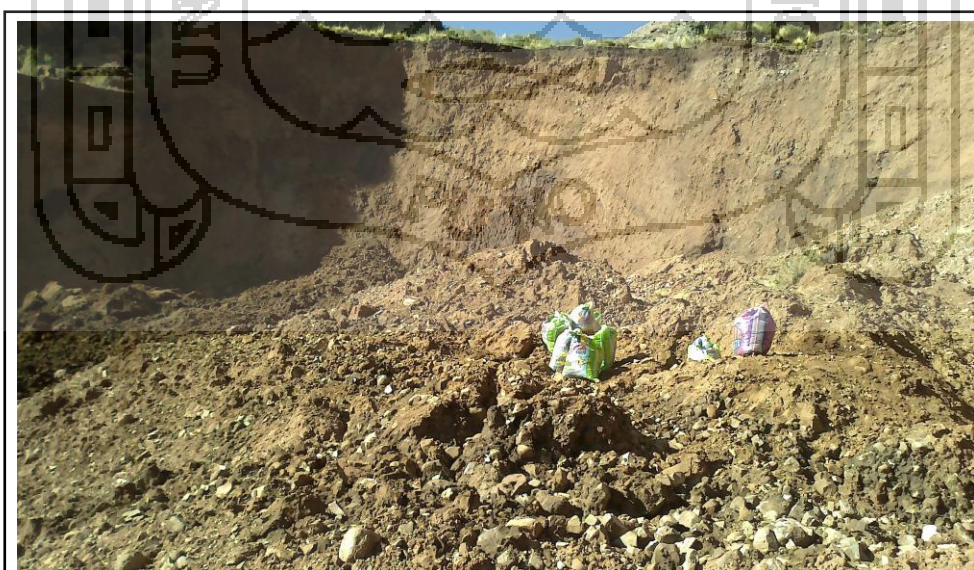


**IMAGEN 29: Ubicación de calicatas-Cantera Jallihuaya.**

De la misma manera en la Cantera Cuntur Wasi, se realizaron 04 calicatas denominadas C-9, C-10, C-11 y C-12 de 1.5m de profundidad, de los cuales se obtuvieron aproximadamente 200Kg. de muestra inalterada, estos se encuentran ubicadas tal como muestra la siguiente imagen:



En las siguientes imágenes se pueden apreciar los trabajos realizados en las canteras de Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi.



**IMAGEN 31: Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 32: Cantera Salcedo-muestras extraídas.**



**IMAGEN 33: Cantera Jallihuaya.**



**IMAGEN 34: Cantera Jallihuaya-muestras extraídas.**



**IMAGEN 35: Cantera Cuntur Wasi.**



**IMAGEN 36: Cantera Cuntur Wasi-muestras extraídas.**

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.

### 3.4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

El estudio de suelos en nuestro caso en particular, se ha referido básicamente a la determinación de la naturaleza y las propiedades mecánicas de las canteras que van a ser utilizadas como material de las distintas capas en el diseño de pavimentos, a fin de lograr establecer las propiedades mecánicas de los mismos y su posterior análisis de uso, mas no del terreno de fundación sobre el cuál se proyectará la construcción de la estructura de una determinada vía; en tal sentido, para cada cantera se practicaron los siguientes ensayos en Laboratorio:

#### **Ensayos de Caracterización:**

1. Contenido de humedad.
2. Análisis granulométrico por tamizado.
3. Límites de Atterberg o de Consistencia.
  - Límite Líquido.
  - Límite Plástico.

**Ensayos de Comportamiento:** (Ensayos directamente relacionados para determinar la resistencia al punzonamiento y la resistencia al desgaste del material de cantera)

4. Próctor Modificado.
5. CBR.
- 6.- Abrasión.

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.

El procedimiento realizado en la investigación se detalla en los siguientes ítems.

#### **A. CONTENIDO DE HUMEDAD**

Se determinó el contenido de humedad de cada una de las canteras, de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo II. Terminado este procedimiento, se continuó con el siguiente ensayo.

#### **B. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.**

- Un paso importante para este ensayo es cuartear la muestra seca, pesarla y registrarla como peso total de la muestra seca, para que de esta manera se pueda tener una porción representativa del material de cantera.
- Lavar 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.
- 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.



**IMAGEN 37: Tamizado a Través del Juego de Tamices.**

Este ensayo se realizó para la clasificación de cada una de las canteras que se mencionaron anteriormente.

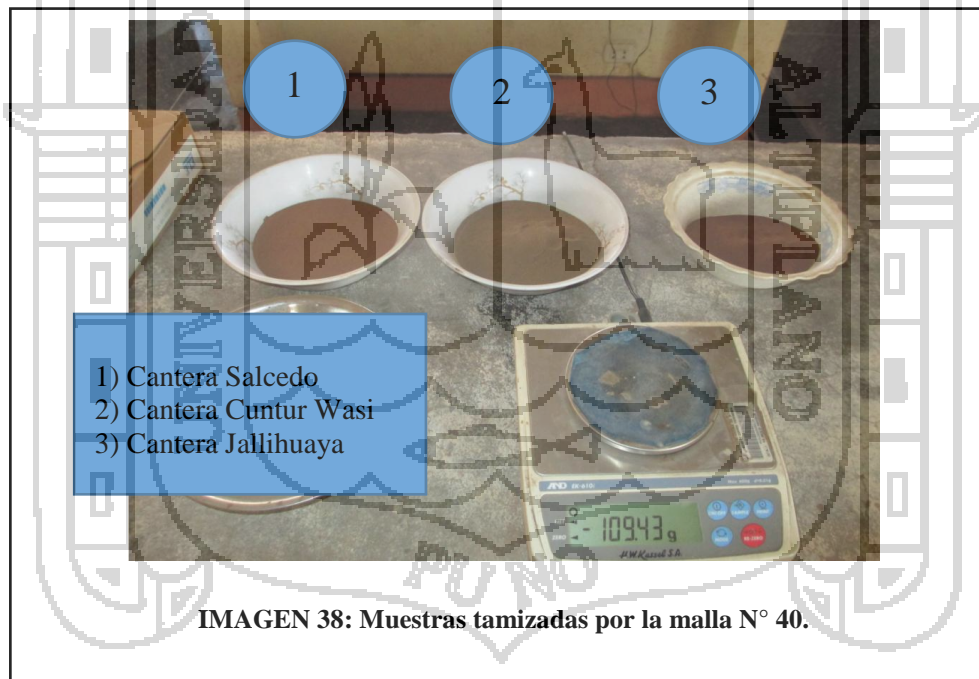
Una vez realizado el análisis granulométrico, se procedió a realizar los ensayos de límites de Atterberg o de consistencia, este también para cada una de las canteras.

### C. LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA.

Los ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico fueron realizados tal como describe el procedimiento descrito en el capítulo II. (Se realizó el ensayo para cada una de las canteras mencionadas anteriormente).

#### C.1. LÍMITE LÍQUIDO.

- Para el inicio del ensayo se cierne la muestra seca a través de la malla N° 40 hasta obtener 150 gr. aproximadamente y descartar el material retenido en él.



- Mezclar el material en el pocillo de porcelana con agua hasta la consistencia de una pasta espesa y suave. Cubrirlo con un paño y dejarlo reposar una hora.



**IMAGEN 39: Mezclado de la muestra con agua hasta obtener la consistencia de una pasta espesa y suave.**

- Colocar el material desde el pocillo 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.



**IMAGEN 40: Colocado de la muestra en la Cuchara de Casagrande.**

- 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.



**IMAGEN 41: Acanalamiento a través de una línea central a la mezcla contenida en la Cuchara.**

- Girar la manivela a razón de 2 vueltas por segundo y anotar los golpes necesarios para que las paredes de la ranura se unan en el fondo de la misma  $\frac{1}{2}$ ".



**IMAGEN 42: Toma de muestra para determinar el contenido de humedad.**

## C.2. LÍMITE PLÁSTICO

- 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.
- 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.



IMAGEN 43: Muestra para el ensayo de Limite Plástico.

- Se inicia el rolado, a razón de 80 a 90 ciclos por minuto.



IMAGEN 44: Rolado de la muestra a razón de 80 a 90 ciclos por minuto.

- El límite plástico (humedad), se obtiene al formar bastones de 3.2 mm. de diámetro, en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales.



**IMAGEN 45: Obtención de muestras de 3.2mm de diámetro para determinar su contenido de humedad.**

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 (Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi).

Culminado este procedimiento se continuó con el siguiente ítem.

#### **D. ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

Para el inicio de este ensayo se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se realizó el ensayo para cada una de las canteras, sin adición de desecho de Policloruro de Vinilo para ver sus condiciones iniciales de Abrasión.
- Luego se adicionó a la muestra patrón de cada cantera, 4%, 6% y 8% de desecho de Policloruro de Vinilo (Respecto al peso inicial de la muestra de suelo).
- El diámetro del desecho de Policloruro de Vinilo utilizado para este ensayo fue la retenido en la malla N° 10 y la pasante la malla N° 4.

El siguiente procedimiento muestra de cómo se realizó el ensayo para la cantera salcedo, el cual es el mismo para la cantera Jallihuaya y Cuntur Wasi:

- El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105-110°C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.



**IMAGEN 46: Lavado del material - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 47: Material retenido en los tamices 1", ¾", ½" y 3/8" - Cantera Salcedo.**

- Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, para luego accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método (Para la cantera salcedo el método fue el: Método A, este de acuerdo a la granulometría obtenida).



**IMAGEN 48: Colocado de la muestra en la Máquina de los Ángeles - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 49: Colocado de la Carga Abrasiva en la Máquina de los ángeles - Cantera Salcedo.**

- Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado de la máquina de los Ángeles y se procede a tamizar por la malla N°12.



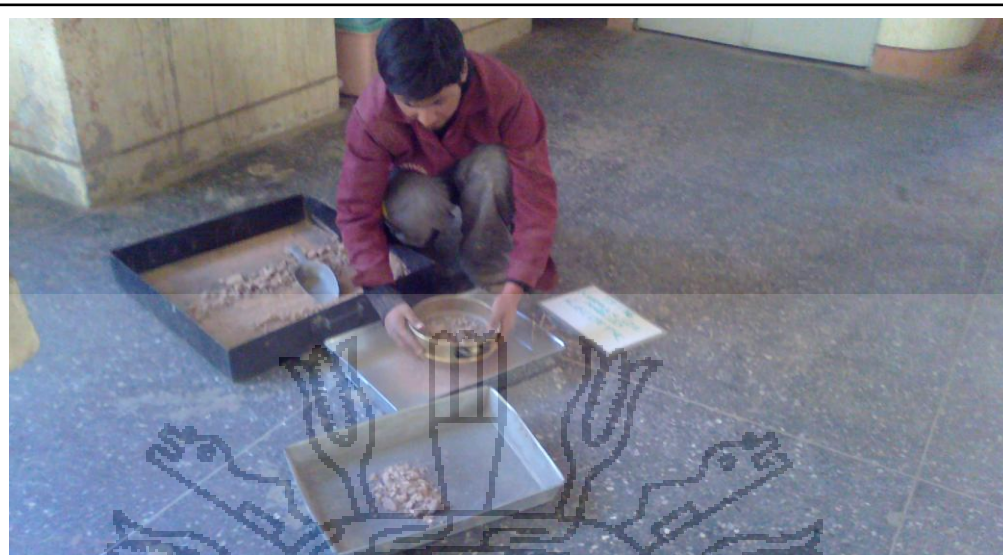


IMAGEN 50: Tamizado de la muestra por la malla N° 12 - Cantera Salcedo.

- El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C, luego pesar la muestra con precisión de 1gr. Para luego proceder con los respectivos cálculos.

## E. PRÓCTOR MODIFICADO

Para el inicio de este ensayo se tomó en cuenta:

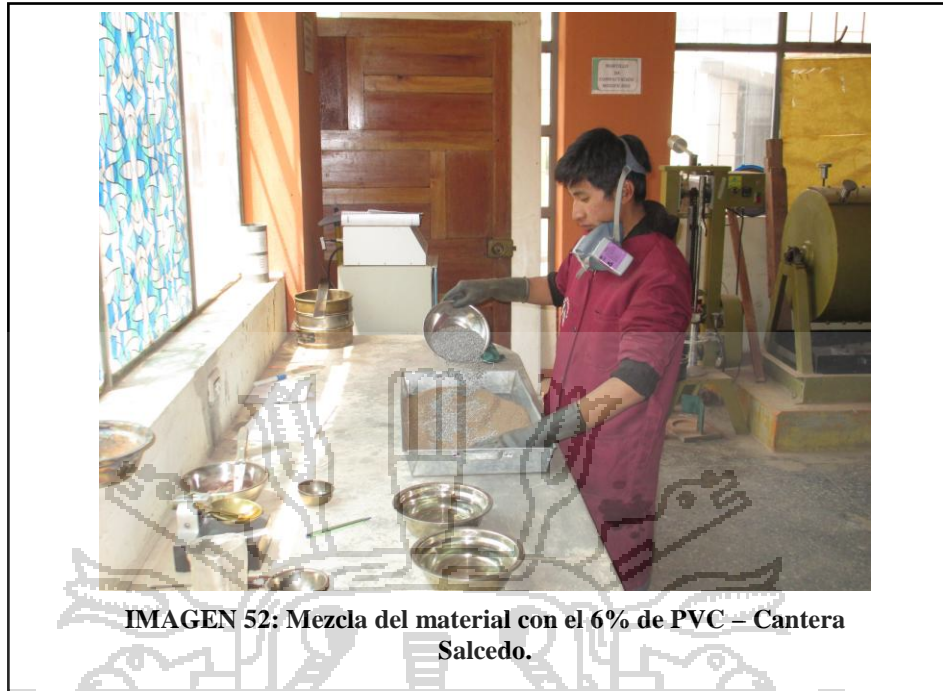
- Realizar el ensayo para cada cantera, sin la adición de Desecho de Policloruro de Vinilo, para ver las condiciones iniciales del Contenido de Humedad Óptimo y de la Máxima Densidad Seca.
- De acuerdo a los resultados del ensayo de Abrasión los Ángeles realizados anteriormente, se decidió iniciar con la adición del 6% de desecho de PVC a las canteras mencionadas inicialmente, para determinar la Densidad Máxima Seca y el Contenido de Humedad Óptimo, con este porcentaje.

Las siguientes imágenes muestran el procedimiento del ensayo Proctor Modificado al 6% de desecho de PVC. El mismo que es igual para el ensayo Proctor Modificado al 0%, de desecho de PVC. El procedimiento es como sigue:

- Se requiere de 40 kg en promedio de material de ensayo, el cual debe ser secado preferiblemente al aire para un mejor manejo y luego disgregar los terrones de material con el martillo de goma para no alterar sus propiedades mecánicas.
- Tamizar el material por las mallas 2",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N° 4, descartando el material retenido en la malla de 2"
- 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 el caso de la cantera Salcedo, el método determinado fue: método A.



- Colocar el material de un punto (son cuatro puntos) 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.



**IMAGEN 52: Mezcla del material con el 6% de PVC – Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 53: Mezcla del material con el 6% de PVC y porcentaje de agua - Cantera Salcedo.**

- Dividir la mezcla en cinco partes proporcionalmente iguales y depositar con la cuchara metálica una de, ellas en el molde (con extensión) de ensayo correspondiente, 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.



**IMAGEN 54: Compactación con el pisón en caída libre -Cantera Salcedo.**

- 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.



**IMAGEN 55: Retiro del collar de extensión para luego proceder a enrasar con la regla metálica - Cantera Salcedo.**

- 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.



**IMAGEN 56: Extracción de una muestra representativa para Determinar el contenido de humedad-Cantera Salcedo.**

- 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, también se realizó el ensayo Proctor Modificado para las canteras Jallihuaya y Cuntur Wasi, al 0% y al 6% de desecho de PVC, siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente. Y así continuar con el siguiente ítem.

#### **F. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)**

Para el inicio de este ensayo, se tomó en cuenta el Contenido de Humedad Óptimo, obtenido en el ensayo de Proctor Modificado, al 0% y 6% de desecho de PVC para la cantera Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi. Las siguientes imágenes muestran el procedimiento realizado del ensayo CBR para la cantera Salcedo adicionándole el 6% de desecho de PVC. Este procedimiento es el mismo para cada caso, y es como sigue:

- Del mismo material seleccionado para el ensayo de Próctor, se preparan tres muestras secas en peso de dicho material y el molde de CBR añadiendo su anillo de extensión y fijándola a una placa de base mediante tuercas.



**IMAGEN 57: Mezcla del material al 6% de desecho de PVC  
– Cantera Salcedo.**

- Preparar en una probeta una cantidad de agua similar en porcentaje del contenido 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.



**IMAGEN 58: Mezcla removida al 6% de PVC - Cantera Salcedo.**

- Colocar 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.



**IMAGEN 59: Extracción y colocado de la mezcla al 6% de PVC, en el molde respectivo - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 60: Compactación de la mezcla, al 6% de PVC - Cantera Salcedo.**

- Quitar la extensión del molde y enrasar 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.



- 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.







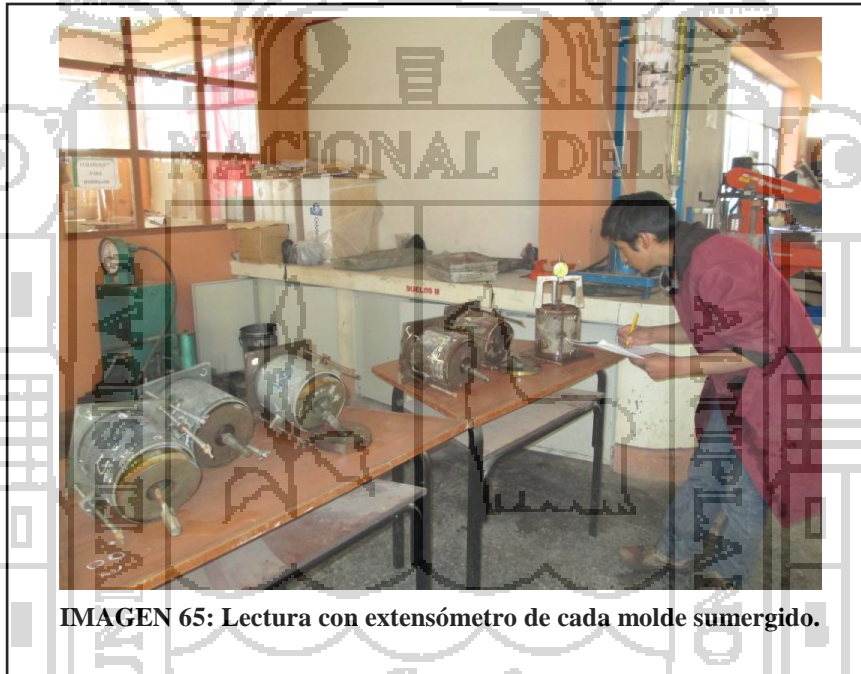
**IMAGEN 63: Registro del peso húmedo más molde al 6% de PVC - Cantera Salcedo.**

- 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.



**IMAGEN 64: Saturación de moldes al 6% de PVC - Cantera Salcedo.**

- 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.



**IMAGEN 65: Lectura con extensómetro de cada molde sumergido.**

- 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.



**IMAGEN 66: Drenaje de moldes al 6% de PVC - Cantera Salcedo.**

- 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.



**IMAGEN 67: Lecturas del dial de carga.**

- 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.



**IMAGEN 68: Muestras una vez sometidas a penetración.**



**IMAGEN 69: Detalle de la muestra una vez sometida a penetración.**

- Una vez sometida la muestra a penetración, con los resultados obtenidos se realizaron los cálculos para cada cantera (Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi) al



0% de Desecho de Policloruro de Vinilo, mismo que es igual para cada caso. El cálculo se detalla a continuación:

**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 = 11.71cm                      Diámetro del molde 1 = 15.26cm
- Altura del molde 2 = 11.71cm                      Diámetro del molde 2 = 15.26cm
- Altura del molde 3 = 11.71cm                      Diámetro del molde 3 = 15.26cm
- Altura del molde 4 = 11.71cm                      Diámetro del molde 4 = 15.26cm

$$\begin{aligned} \text{Volumen 1} = \text{Volumen 2} = \text{Volumen 3} = \text{Volumen 4} &= \pi D^2 \frac{h}{4} \\ &= 3.1416 * 15.26^2 \frac{11.71}{4} \\ &= 2141.69 \text{cm}^3 \dots\dots (1) \end{aligned}$$

|                                      |       |         |         |         |         |
|--------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (1)                | cm3   | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde (2)        | gr.   | 10598   | 11010   | 11050   | 10983   |
| Peso del Molde (3)                   | gr.   | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    |
| Peso del Suelo Húmedo (2-3) = (4)    | gr/cc | 4394    | 4806    | 4846    | 4779    |
| Densidad del Suelo Húmedo (4/1)= (5) | gr/cc | 2.05    | 2.24    | 2.26    | 2.23    |

Peso suelo Húmedo más Molde..... (2)

- Molde 1= 10598gr
- Molde 2= 11010gr
- Molde 3= 11050gr
- Molde 4= 10983gr

Peso del Molde..... (3)

- Peso Molde 1= 6204gr
- Peso Molde 2= 6204gr
- Peso Molde 3= 6204gr
- Peso Molde 4= 6204gr

Peso del suelo Húmedo..... (4)

Peso del suelo Húmedo 1 = 10598gr-6204gr = 4394gr

Peso del suelo Húmedo 2 = 11010gr-6204gr = 4806gr

Peso del suelo Húmedo 3 = 11050gr-6204gr = 4846gr

Peso del suelo Húmedo 4 = 10983gr-6204gr = 4779gr

Densidad del suelo húmedo..... (5)

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4394\text{gr}}{2141.69\text{cm}^3} = 2.05 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

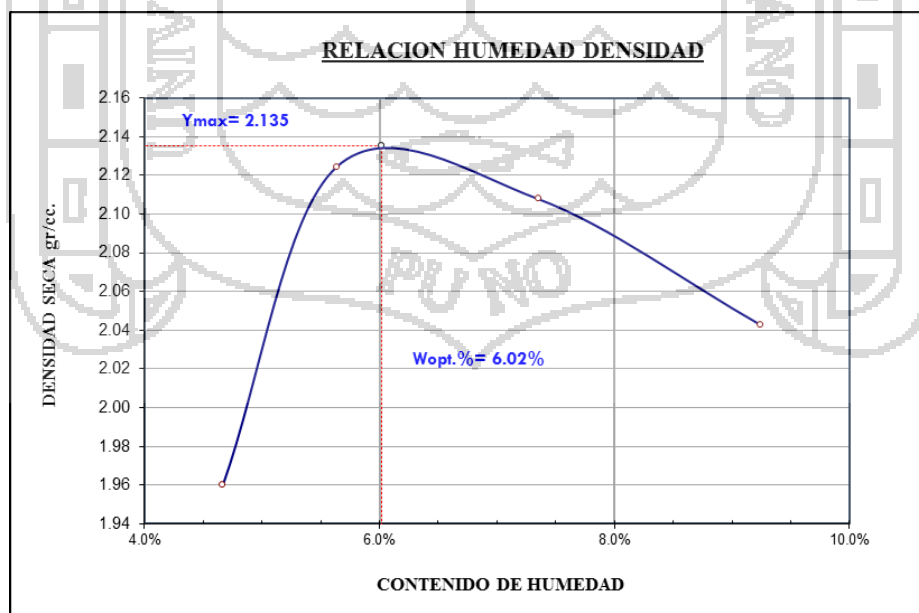
$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4806\text{gr}}{2141.69\text{cm}^3} = 2.24 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4846\text{gr}}{2141.69\text{cm}^3} = 2.26 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad del suelo húmedo 1} = \frac{4779\text{gr}}{2141.69\text{cm}^3} = 2.23 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

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

| Capsula No                                | No  | 1     | 2      | 3     | 4     | 5      | 6     | 7      | 8      |
|---|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula (6)                | gr. | 78.91 | 101.45 | 84.74 | 88.45 | 117.83 | 92.33 | 131.88 | 138.67 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula (7)         | gr. | 76.39 | 97.67  | 81.22 | 84.81 | 111.29 | 87.32 | 122.48 | 128.94 |
| Peso del Agua (6)-(7) = (8)               | gr. | 2.52  | 3.78   | 3.52  | 3.64  | 6.54   | 5.01  | 9.40   | 9.73   |
| Peso de la Capsula (9)                    | gr. | 22.22 | 16.96  | 17.06 | 21.86 | 22.12  | 19.31 | 22.14  | 22.30  |
| Peso del Suelo Seco (7)-(9)=(10)          | gr. | 54.17 | 80.71  | 64.16 | 62.95 | 89.17  | 68.01 | 100.34 | 106.64 |
| % de Humedad(8)/(10)=(11)                 | %   | 4.65% | 4.68%  | 5.49% | 5.78% | 7.33%  | 7.37% | 9.37%  | 9.12%  |
| Promedio de Humedad (12)                  | %   | 4.67% |        | 5.63% |       | 7.35%  |       | 9.25%  |        |
| Densidad del Suelo Seco (5)/(1+(12))=(13) | %   | 1.960 |        | 2.124 |       | 2.108  |       | 2.043  |        |



|                        |            |
|------------------------|------------|
| Máxima densidad seca : | 2.14 gr/cc |
| Humedad optima :       | 6.02%      |



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

|                                       |        |         |         |         |
|---------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde (1)         | gr.    | 11328   | 12209   | 13284   |
| Peso del Molde (2)                    | gr.    | 6699    | 7287    | 8106    |
| Peso del Suelo Húmedo (1)-(2)=(3)     | gr.    | 4629    | 4922    | 5178    |
| Volumen del Suelo (4) *               | cc.    | 2313.83 | 2283.54 | 2283.56 |
| Densidad del Suelo Húmedo (3)/(4)=(5) | gr/cc. | 2.001   | 2.155   | 2.268   |

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

Diámetro del molde = 15.24cm

Altura del molde = 17.8cm

Altura del disco espaciador = 5.11cm

Volumen del Suelo (4) =  $3.1416 * (17.8 - 5.11)^2 / 4 = 2313.83 \text{cm}^3$

|                                      |        |        |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Capsula No                           | No     | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Suelo Húmedo + Capsula (6)           | gr.    | 105.47 | 95.98 | 89.77 | 92.95 | 70.96 | 87.77 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula (7)    | gr.    | 99.79  | 91.18 | 85.04 | 87.92 | 67.46 | 83.11 |
| Peso del Agua (6)-(7)=(8)            | gr.    | 5.68   | 4.80  | 4.73  | 5.03  | 3.50  | 4.66  |
| Peso de la Capsula (9)               | gr.    | 16.08  | 22.02 | 16.27 | 15.98 | 16.32 | 16.21 |
| Peso del Suelo Seco (7)-(9)= (10)    | gr.    | 83.71  | 69.16 | 68.77 | 71.94 | 51.14 | 66.90 |
| % de Humedad (8)/(10)=(11)           | %      | 6.79%  | 6.94% | 6.88% | 6.99% | 6.84% | 6.97% |
| Promedio de Humedad (12)             | %      | 6.86%  |       | 6.93% |       | 6.90% |       |
| Densidad del Suelo Seco (5)/(1+(12)) | gr/cc. | 1.872  |       | 2.016 |       | 2.121 |       |

**c) Calculo de la expansión:**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |       | Dial   | Expansión |      | Dial   | Expansión |      |
|------------|------------|--------|-------|-----------|-------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|
|            |            |        |       | mm        | %     |        | mm        | %    |        | mm        | %    |
| 20/02/2014 | 12:12 p.m. | 0 h.   | 7.985 | 0         | 0     | 23.1   | 0         | 0    | 18.105 | 0         | 0    |
| 24/02/2014 | 12:12 p.m. | 96 h.  | 7.869 | -0.116    | -0.09 | 23.952 | 0.85      | 0.68 | 18.119 | 0.01      | 0.01 |

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 (178mm) menos la altura del collar de expansión (51.1mm), es decir, 126.9 mm de altura inicial.

% de expansión =  $(\text{Lectura inicial} - \text{Lectura final}) * 100 / 126.9 \text{mm}$

=  $(7.985 \text{mm} - 7.869 \text{mm}) * 100 / 126.9 \text{mm}$

= -0.09mm (El procedimiento de cálculo es el mismo para cada

caso)



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:**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |      |                    | MOLDE No 2 |       |                    | MOLDE No 3 |        |                    |
|----------------|--------|------------|------------|------|--------------------|------------|-------|--------------------|------------|--------|--------------------|
|                |        |            | KN         | Kg   | Kg/cm <sup>2</sup> | KN         | Kg    | Kg/cm <sup>2</sup> | KN         | Kg     | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.22       | 22.4 | 1.1                | 1.93       | 196.7 | 9.95               | 5.20       | 530.1  | 26.8               |
| 1.27           | 01:00  |            | 0.29       | 29.6 | 1.5                | 3.05       | 310.9 | 15.72              | 9.55       | 973.5  | 49.2               |
| 1.91           | 01:30  |            | 0.36       | 36.7 | 1.9                | 3.89       | 396.5 | 20.04              | 12.50      | 1274.3 | 64.4               |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 0.42       | 42.8 | 2.2                | 4.55       | 463.8 | 23.45              | 14.70      | 1498.5 | 75.7               |
| 3.81           | 03:00  |            | 0.55       | 56.1 | 2.8                | 5.56       | 566.8 | 28.65              | 18.02      | 1837.0 | 92.9               |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 0.67       | 68.3 | 3.5                | 6.33       | 645.3 | 32.62              | 19.67      | 2005.2 | 101.4              |

Análisis para una Penetración de 2.54mm

- Lectura de la prensa: 0.42 KN
- Lectura de la Prensa:  $0.42 * 101.94 = 42.8 \text{Kg}$ ..... (a)

Área del pistón de Penetración =  $19.783 \text{cm}^2$  ..... (b)

- Carga unitaria del ensayo =  $\frac{(a)}{(b)} = \frac{42.8 \text{Kg}}{19.783 \text{cm}^2} = 2.2 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

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

**TABLA 54: Valores para la Carga unitaria Patrón**

| Penetración (mm) | Esfuerzo Patrón (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Penetración (Pulg.) | Esfuerzo Patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) |
|------------------|---------------------------------------|---------------------|---|
| 2.54             | 70.31                                 | 0.1                 | 1000                                    |
| 5.08             | 105.46                                | 0.2                 | 1500                                    |
| 7.62             | 133.58                                | 0.3                 | 1900                                    |
| 10.16            | 161.71                                | 0.4                 | 2300                                    |
| 12.70            | 182.80                                | 0.5                 | 2600                                    |

**Fuente:** Universidad Privada del norte, Facultad de Ingeniería y Arquitectura-CBR



**TABLA 55: Resistencia a la penetración del material patrón**

| Profundidad de penetración (mm) | Carga (Kg) |
|---------------------------------|------------|
| 2.5                             | 1355       |
| 5.0                             | 2030       |
| 7.5                             | 2615       |
| 10.0                            | 3138       |
| 12.5                            | 3545       |

**Fuente:** Asistencia Técnica en Mantenimiento de la Red de carreteras Primarias y Especiales-Manual de Procedimientos de Laboratorio, 2006.

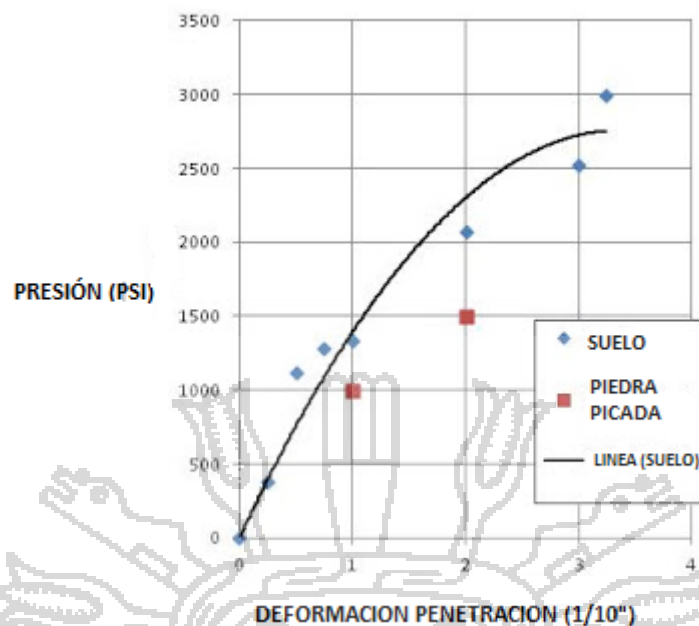
- $CBR = \frac{42.8Kg}{1355Kg} * 100 = 3\%$  (Para 12 golpes de Compactación)
- $CBR = \frac{463.8Kg}{1355Kg} * 100 = 34\%$  (Para 25 golpes de Compactación)
- $CBR = \frac{1498.5Kg}{1355Kg} * 100 = 111\%$  (Para 56 golpes de Compactación)

En esta última parte se puede resaltar que el CBR de, esta cantera Salcedo supera el 100% a los 56 golpes de compactación.

Los siguientes Investigaciones corroboran el resultado obtenido del ensayo de Valor Relativo de Soporte para la cantera salcedo (CBR=111%)

En el Blog de RAMCODES-Conceptos y aplicaciones de la tecnología RAMCODES en suelos y mezclas asfálticas; presenta un par de pruebas de que es posible encontrar suelos con CBR mayor que 100%

La siguiente gráfica muestra la curva de penetración-esfuerzo de CBR para una probeta de suelo elaborada con arena limosa (SM, A-4(0)); la misma fue compactada con energía Proctor de 56 golpes/capa y humedad óptima produciendo un grado de saturación de 60%. El ensayo de penetración CBR se realizó inmediatamente luego de elaborada la probeta (sin inmersión a 4 días). La curva de penetración se compara en la gráfica con los registros estándar de la piedra triturada California (ASTM D 1883-07) que son 1000 y 1500 psi, para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración, respectivamente. Obsérvese que los mismos están por debajo de la curva, lo que significa que el CBR del suelo de la probeta ensayada es mayor que 100%; de hecho es 133% (1338 psi/1000 psi).



Otro ejemplo de CBR medido en laboratorio en estado «tal como se compactó». En este caso el suelo es grava limosa (GM, A-1-b (0)) compactada, en laboratorio, a diversos grados de compactación. Se observó que se registraron valores de CBR de hasta 180%. El grado de saturación del suelo varió entre 50 y 65%.

Pasamos a explicar el porqué de este fenómeno.

La piedra triturada es un excelente material constructivo para pavimentos y rellenos estructurales no solo por su resistencia, sino por el hecho de que la misma no es susceptible al humedecimiento. Es decir, la resistencia de la piedra triturada es prácticamente igual en seco que humedecida. Sin embargo, los suelos que combinan el agregado grueso e intermedio con finos plásticos (como las arenas gruesas y gravas, ambas limosas y/o arcillosas) tienen la ventaja de tener un cementante que aumenta la resistencia del suelo cuando la humedad baja. Es decir, la resistencia aumenta en función de dos fenómenos, el contacto entre granos (que produce la densificación), y el aumento de la succión (a medida que se tienen humedades más bajas). Según Fredlund y Rahardjo (1993), una presión de succión de entre 100 y 1000 kPa, típica de un suelo compactado, es tan grande como la presión que recibiría un suelo ubicado a una profundidad de 10 a 100 metros; de modo que esta sería una gran contribución a la resistencia del suelo cuando está seco, que no tiene la piedra triturada.

En conclusión:

- Sí es posible (pues se ha probado aquí) encontrar suelos con CBR mayor que 100% y generalmente esto se produce cuando son ensayados en la condición que llama la norma ASTM D 1883-07 «tal como se compactó».
- Esto es posible en suelos que combinan los tamaños de agregado grueso e intermedio con finos plásticos (arenas gruesas y gravas, ambas limosas y arcillosas). Como en la piedra triturada, la resistencia de este tipo de suelos viene del contacto entre granos, que se gana con la densificación, pero (y a diferencia de la piedra triturada) estos suelos también reciben el aporte de resistencia de la succión que se genera al bajar la humedad de la pasta de fino con agua que se transforma en cementante; esta succión es una presión de magnitud considerable.

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, en la Investigación: “Consideraciones sobre Compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte” realizado por: Alfonso Rico Rodríguez, 1992, reconoce:

Que la estructura de los suelos compactados depende en primer lugar de factores intrínsecos, tales como la mineralogía, forma y tamaño de las partículas (en más de un sentido dependientes de la anterior) y la composición química del agua contenida en los poros del suelo; estos factores definen en gran parte la magnitud de las fuerzas electroquímicas entre los cristales vecinos. Adicionalmente existen obviamente factores externos, de los que el método de compactación y la energía en él empleada son con mucho los más significativos; de hecho, está sobradamente demostrado que métodos de compactación diferentes producen distintas estructuras. (Rico Rodríguez & Del Castillo Mejía, 1992)

También Sánchez-leal, Freddy j. Investigador de la Fundación del Instituto de Investigaciones Científicas Solestudios (fundasolestudios), coro, Venezuela, en su investigación “Proctor vs. Ramcodes”, menciona:

Que el valor máximo al que se aspira en este ensayo es 100%, donde se entiende que el suelo problema tiene la misma resistencia que la piedra picada. No obstante, ciertos

suelos, en ciertas condiciones, han evidenciado valores de CBR francamente superiores a este valor (Sánchez Leal, 2012).

De la misma forma en la Universidad Nacional de Ingeniería de la Facultad de la Tecnología de la Construcción, en la Investigación “Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles” Realizado por el Ing. Pedro Joaquín Morales Cárdenas-Nicaragua, 2009. Se usó bancos de materiales con las siguientes características:

Banco Nindiri.- La característica de esta cantera es que es un macizo rocoso; el basalto es color gris, presenta la característica de ser granujiento y estar formado de silicato de magnesio y hierro: Este tipo de formaciones geológicas generalmente se encuentran en rocas de origen volcánico. La granulometría de este material es: no uniforme y bien graduado, siendo el tamaño máximo del agregado 1.5” y un tamaño máximo nominal de partículas 1”.

Banco Gabarato.- La característica de esta cantera es que es basáltica, tiene abundantes minerales ferromagnesianos con menos silicatos. La granulometría de este material es: no uniforme y bien graduado siendo el tamaño máximo del agregado de 1” y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ”.

Banco La luz.- El material de esta cantera es basalto que se compone de minerales ferromagnesianos. Tiene un porcentaje de sílice bajo (45% aproximadamente) y contiene elementos como hierro y magnesio. La granulometría de este material es: no uniforme y bien graduado siendo el tamaño máximo del agregado de 1” y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ”.

La compactación se realizó según la AASHTO T 180, que especifica 56 golpes por capa.

Los valores de CBR de la granulometría natural y 56 golpes por capa son superiores al 100%, lo que demuestra que los materiales de los bancos son de excelente calidad. Los resultados de cada cantera son los siguientes:

Banco Nindiri.- CBR aplicando el estándar AASHTO T 193 fue de 120%

Banco Gabarato.- CBR aplicando el estándar AASHTO T 193 fue de 130%

Banco La Luz.- CBR aplicando el estándar AASHTO T 193 fue de 200%

Según el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Carta Geológica, Puno se encuentra sobre una capa de suelo intrusivo sin diferenciar, diorita y cuarzo, pórtido de cuarzo y feldespatos, andesita, cuarzo monzodiorita, estas son rocas Ígneas, volcánicas y según la teoría en el Blog de RAMCODES-“Conceptos y aplicaciones de la tecnología RAMCODES en suelos y mezclas asfálticas” estos suelos si pueden presentar un CBR mayor que 100%

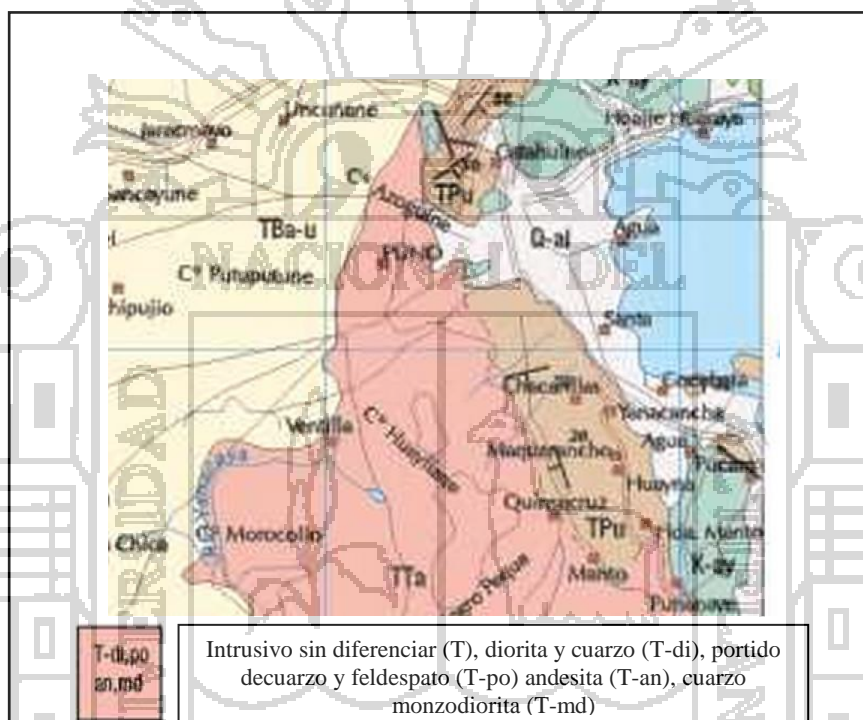


IMAGEN 70: Carta geológica-Puno

**Fuente:** Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-carta geológica nacional hasta 1999.

En el Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se pudo ver una figura que muestra Correlaciones Típicas, entre las clasificaciones y propiedades de los suelos con el módulo de resiliencia, y según la clasificación que se obtuvo de cada una de las canteras utilizadas en la presente investigación (Salcedo, Jallihuaya y Cuntur Wasi); y realizando una comparación entre, estas clasificaciones y los rangos de Valor Relativo de Soporte que muestra la figura 25, las comparaciones son las siguientes:

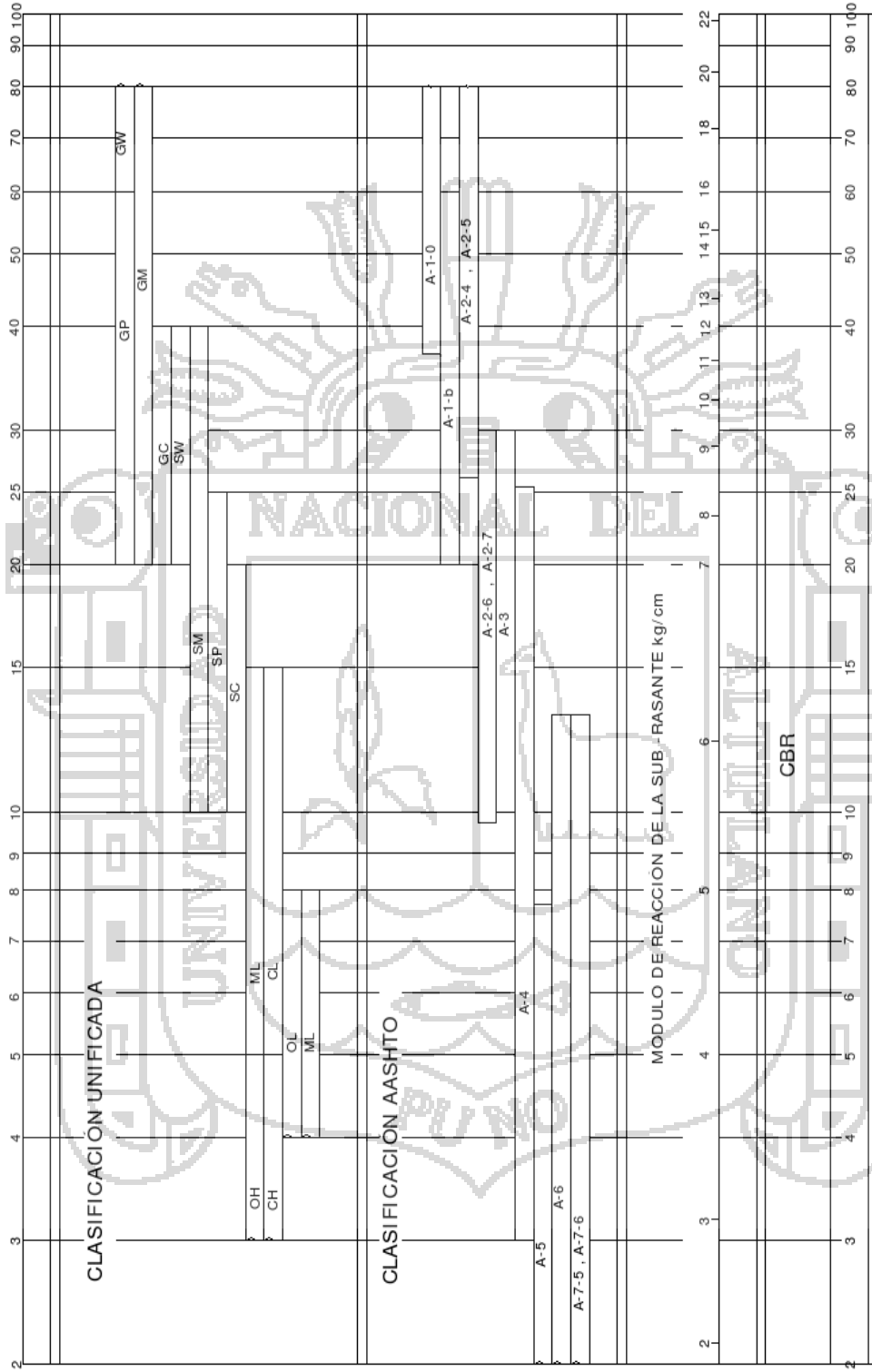
**TABLA 56: Comparación entre CBR obtenido en la investigación y rango de CBR según manual del MTC (Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013).**

| CANTERA     | CLASIFICACIÓN<br>S.U.C.S: | CBR (al 100% de la máxima densidad seca) OBTENIDO EN LA INVESTIGACIÓN | RANGO DE VALORES DE CBR (al 100% de la máxima densidad seca), SEGÚN MANUAL | COMPARACIÓN |
|-------------|---------------------------|---|--|-------------|
| Salcedo     | SM                        | 111%  | 10%-40%  | No Cumple   |
| Jallihuaya  | GM-GC                     | 49%   | 20%-80%  | Si Cumple   |
| Cuntur Wasi | OL                        | 7%  | 4%-8%  | Si Cumple   |

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 56, se puede notar que el CBR obtenido en la investigación y el rango de valores de CBR según el Manual del MTC (Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013), cumple para la Cantera Jallihuaya y Cuntur Wasi, mas no, para la cantera Salcedo. La explicación del porque el CBR de la Cantera Salcedo no cumple, con el rango de valores que indica el Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013, se dio a conocer en el anterior item.

**FIGURA 25: Correlaciones Típicas entre las clasificaciones y propiedades de los suelos con el módulo de Resiliencia.**



**Fuente:** Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-2013-Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Culminado estos ensayos, se tomaron las siguientes decisiones para cada cantera:

**Cantera Salcedo:**

- Continuar con la obtención del Contenido de Humedad Óptimo y la Máxima Densidad Seca al 4% y 8% de desecho de PVC, este con diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4. Para luego determinar su respectivo Valor Relativo de Soporte (CBR) a los mismos porcentajes.
- Realizar los ensayos Proctor Modificado y Valor Relativo de Soporte (CBR) con desecho de Policloruro de Vinilo con diámetros retenidos en la malla N° 3/8" y pasantes la malla N° 3/4" al 4% y 6%, para ver la influencia que tienen en los resultados y ver finalmente que diámetro de desecho de Policloruro de Vinilo se adecua más para su uso en la conformación de la Capa Base y Sub Base de pavimentos.

**Cantera Jallihuaya:**

- Continuar con la obtención del Contenido de Humedad Óptimo y la Máxima Densidad Seca al 4% y 8% de desecho de PVC. Para luego determinar su respectivo Valor Relativo de Soporte (CBR) a los mismos porcentajes.
- Estos ensayos se realizaron una vez terminado la experimentación con la cantera Salcedo con ambos tipos de diámetros de desecho de Policloruro de Vinilo y según los resultados obtenidos; se procedió a realizar los ensayos para esta cantera, utilizando desechos de Policloruro de Vinilo con diámetros retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

**Cantera Cuntur Wasi:**

- De acuerdo a los resultados obtenidos, que están muy por debajo de la que requiere la EG-2013 en cuanto a su Valor Relativo de Soporte, experimentados con desechos de Policloruro de Vinilo con diámetros retenidos en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4 al 0% y 6%, por lo que, se suspendió la experimentación con esta cantera.

**Nota.-** Cada uno de los resultados obtenidos se muestra en las fichas de observación usados en laboratorio y se detallan en el anexo III de la presente investigación.



## **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE COLECTA DE DATOS**

### **3.5.1. TÉCNICA**

La técnica que se utilizó, es la experimentación en laboratorio con desechos de Policloruro de Vinilo y su influencia en las propiedades mecánicas en el material de cantera.

### **3.5.2. INSTRUMENTO**

Se utilizaron fichas de observación en laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del suelo. Los ensayos y fichas de observación de suelos en laboratorio se detallan en el Anexo III de la presente investigación.

### **3.5.3. EQUIPOS**

Los equipos utilizados fueron los del laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la FICA de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno y los materiales son el suelo (materiales de canteras) y el desecho de Policloruro de Vinilo.

## **3.6. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra en la Región Puno-Provincia de Puno-Distrito de Puno, y la experimentación en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la FICA de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

# CAPITULO IV

## 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

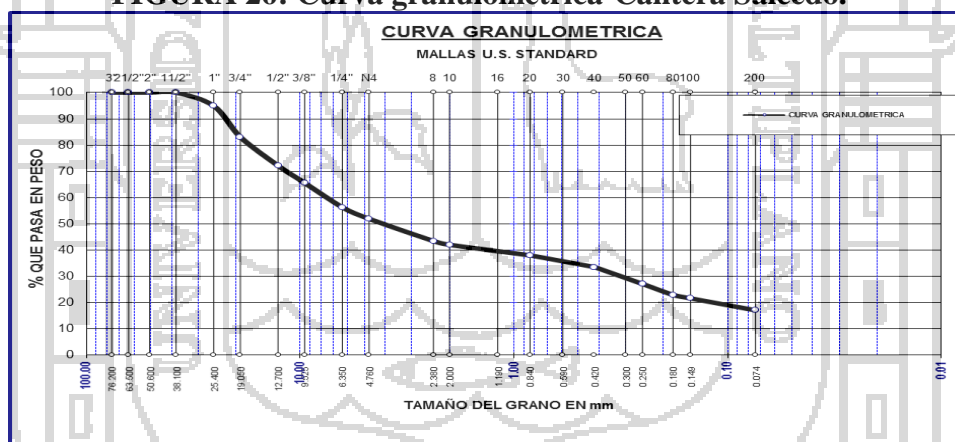
### 4.1. CONDICIONES INICIALES DE LAS CANTERAS

#### 4.1.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

##### 4.1.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

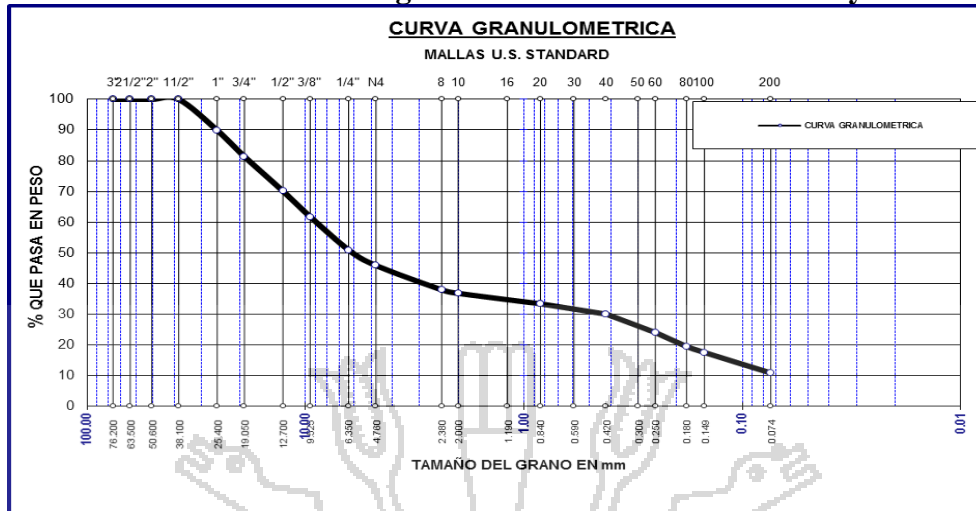
a) **Cantera Salcedo.-** La siguiente figura muestra la curva granulométrica.

**FIGURA 26: Curva granulométrica-Cantera Salcedo.**



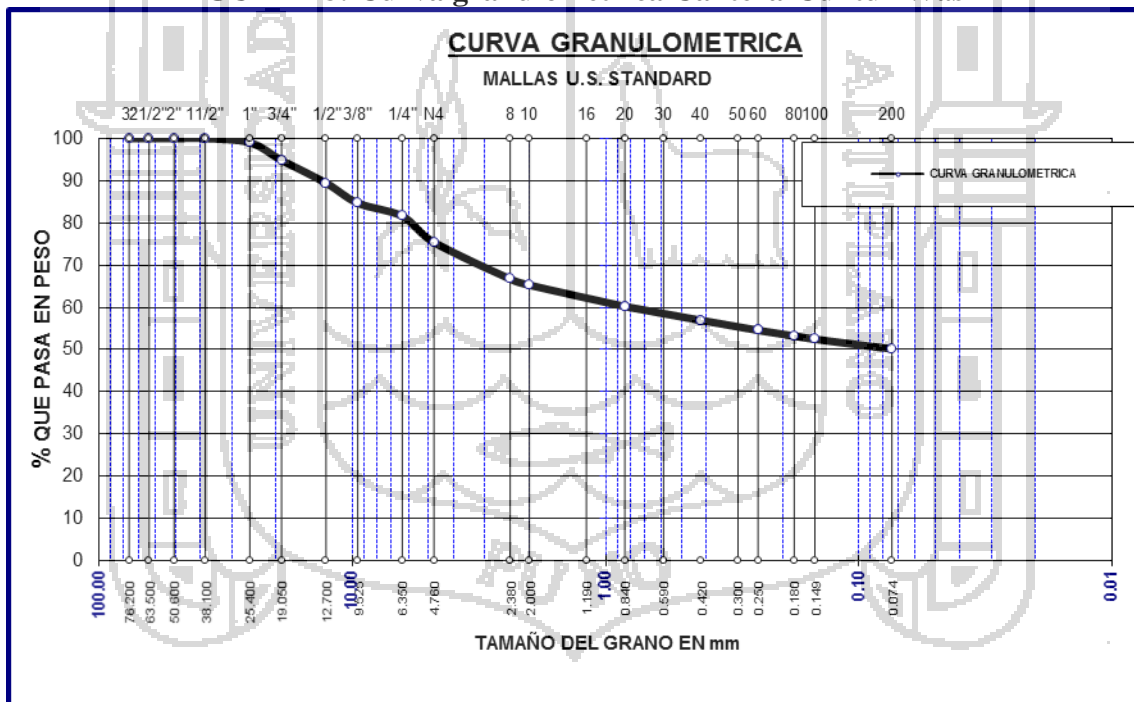
b) **Cantera Jallihuaya.-** La siguiente figura muestra la curva granulométrica.

**FIGURA 27: Curva granulométrica Cantera-Jallihuaya**



c) Cantera Cuntur Wasi.- La siguiente figura muestra la curva granulométrica.

**FIGURA 28: Curva granulométrica Cantera-Cuntur Wasi**



#### 4.1.1.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

a) Cantera Salcedo

**TABLA 57: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Salcedo.**

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>LÍMITE LÍQUIDO</b>        | <b>16.46 %</b> |
| <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>       | <b>13.87 %</b> |
| <b>ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD</b> | <b>2.59%</b>   |

**b) Cantera Jallihuaya****TABLA 58: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Jallihuaya.**

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>LÍMITE LÍQUIDO</b>        | <b>16.93 %</b> |
| <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>       | <b>12.48 %</b> |
| <b>ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD</b> | <b>4.45%</b>   |

**c) Cantera Cuntur Wasi****TABLA 59: Resumen de los límites de consistencia-Cantera Cuntur Wasi.**

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| <b>LÍMITE LÍQUIDO</b>        | <b>41.11 %</b> |
| <b>LÍMITE PLÁSTICO</b>       | <b>29.84 %</b> |
| <b>ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD</b> | <b>11.28 %</b> |

**4.1.1.3. ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES****a) Cantera Salcedo****TABLA 60: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC.**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>CANTERA SALCEDO</b> | <b>PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4)</b> |
|                        | <b>0%</b>   |
| <b>% DE DESGASTE</b>   | <b>40.29</b>  |

**b) Cantera Jallihuaya****TABLA 61: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC.**

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>CANTERA JALLIHUAYA</b> | <b>PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4)</b> |
|                           | <b>0%</b>   |
| <b>% DE DESGASTE</b>      | <b>42.79</b>  |

**c) Cantera Cuntur Wasi**

**TABLA 62: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC.**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>CANTERA CUNTUR WASI</b> | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|                            | <b>0%</b>  |
| <b>% DE DESGASTE</b>       | <b>40.33</b>   |

#### 4.1.1.4. PROCTOR MODIFICADO

##### a) Cantera Salcedo.

**TABLA 63: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC.**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>CANTERA SALCEDO</b>              | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|                                     | <b>0%</b>  |
| <b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)</b> | <b>2.14</b>  |
| <b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>           | <b>6.02</b>  |

**TABLA 64: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC.**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>CANTERA SALCEDO</b>              | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |
|                                     | <b>0%</b>   |
| <b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)</b> | <b>2.14</b>   |
| <b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>           | <b>6.02</b>   |

##### b) Cantera Jallihuaya.

**TABLA 65: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC.**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>CANTERA JALLIHUAYA</b>           | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|                                     | <b>0%</b>  |
| <b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)</b> | <b>2.19</b>  |
| <b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>           | <b>6.22</b>  |

##### c) Cantera Cuntur Wasi.

**TABLA 66: Máxima Densidad Seca y Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC.**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>CANTERA CUNTUR WASI</b>          | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|                                     | <b>0%</b>  |
| <b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc)</b> | <b>1.85</b>  |
| <b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>           | <b>15.42</b>   |

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

##### a) Cantera Salcedo

**TABLA 67: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC.**

| CANTERA SALCEDO |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|-----------------|------------------|--|
| PROPIEDAD       | NUMERO DE GOLPES | 0%   |
| CBR (%)         | 12               | 3  |
|                 | 25               | 34   |
|                 | 56               | 111  |

##### b) Cantera Jallihuaya

**TABLA 68: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC.**

| CANTERA JALLIHUAYA |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|--------------------|------------------|--|
| PROPIEDAD          | NUMERO DE GOLPES | 0%   |
| CBR (%)            | 12               | 38   |
|                    | 25               | 58   |
|                    | 56               | 49   |

##### c) Cantera Cuntur Wasi

**TABLA 69: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC.**

| CANTERA CUNTUR WASI |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |
|---------------------|------------------|--|
| PROPIEDAD           | NUMERO DE GOLPES | 0%   |
| CBR (%)             | 12               | 10   |
|                     | 25               | 7  |
|                     | 56               | 7  |

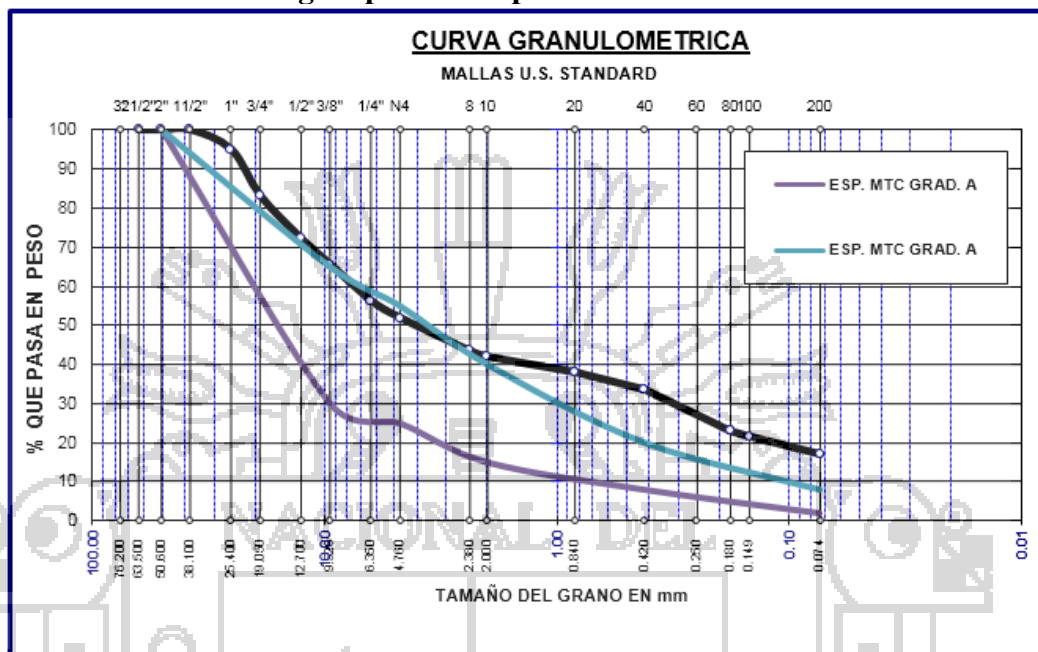
#### 4.1.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

##### 4.1.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

a) **Cantera Salcedo.-** La siguiente figura 29, muestra una comparación entre la gradación requerida para la conformación de la capa Base y Sub Base de

pavimentos según la EG-2013 y la gradación obtenida del análisis granulométrico de, esta cantera.

**FIGURA 29: Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Salcedo y el rango especificado por la EG-2013.**



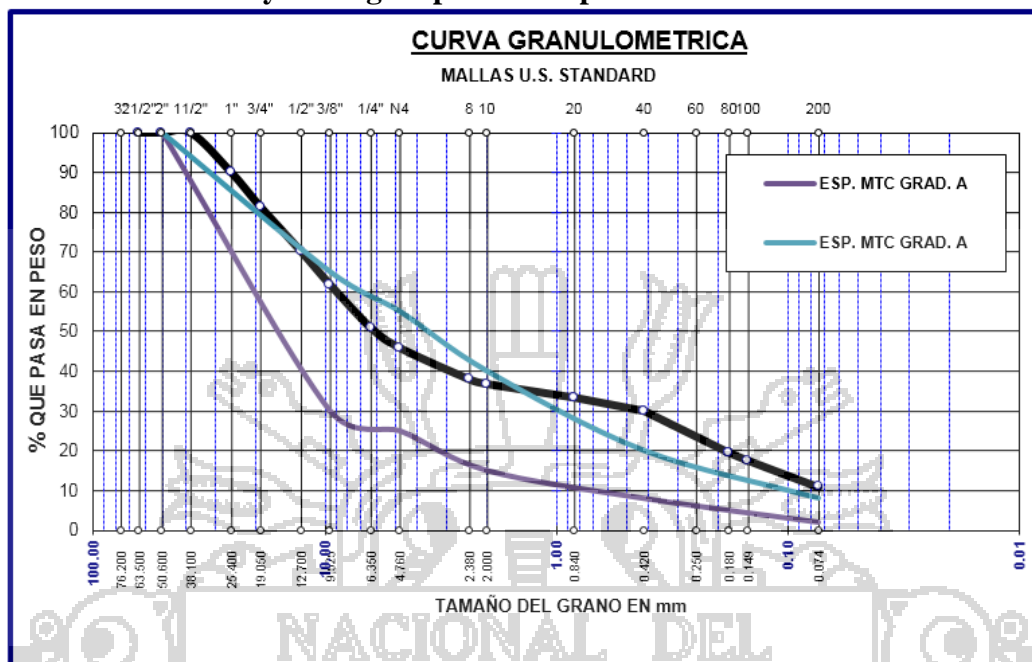
En la figura 29, se puede observar que la curva granulométrica de la Cantera Salcedo, no se encuentra dentro del rango especificado por la EG-2013, en consecuencia, esta cantera se considera como no apto para la conformación de una capa Base y Sub Base de Pavimentos.

Realizando una comparación entre la granulometría original de la cantera y la granulometría con adición de desechos de Policloruro de Vinilo (desechos retenidos en la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4) respecto a un peso determinado, la variación no es considerable.

Además los desechos de Policloruro de Vinilo se le ha adicionado específicamente a esta cantera, para mejorar las propiedades del Valor Relativo de Soporte y el coeficiente de desgaste de Abrasión los Ángeles.

**b) Cantera Jallihuaya.-** La siguiente figura 30, muestra una comparación entre la gradación requerida para la conformación de la capa Base y Sub Base de pavimentos según la EG-2013 y la gradación obtenida del análisis granulométrico de, esta cantera.

**FIGURA 30: Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Jallihuaya y el rango especificado por la EG-2013.**



En la figura 30, se puede observar que la curva granulométrica de la Cantera Jallihuaya, no se encuentra dentro del rango especificado por la EG-2013, en consecuencia, esta cantera se considera como no apto para la conformación de una capa Base y Sub Base de Pavimentos.

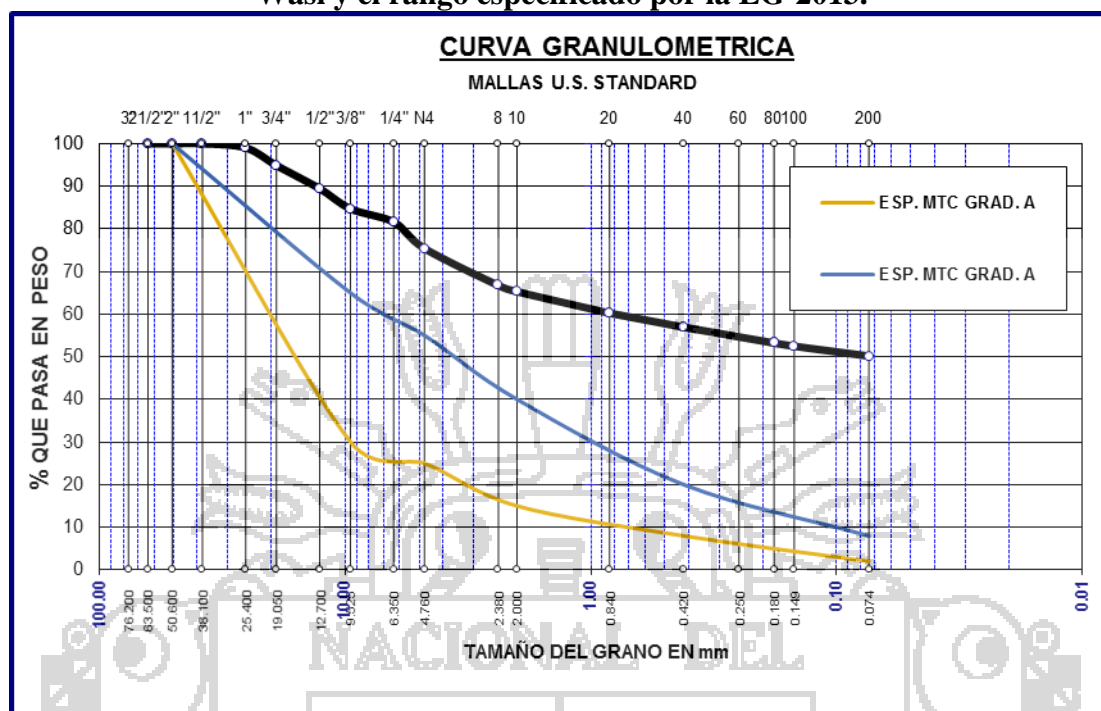
Realizando una comparación entre la granulometría original de la cantera y la granulometría con adición de desechos de Policloruro de Vinilo (desechos retenidos en la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4) respecto a un peso determinado la variación no es considerable.

Además los desechos de Policloruro de Vinilo se le ha adicionado específicamente a esta cantera, para mejorar las propiedades del Valor Relativo de Soporte y el coeficiente de desgaste de Abrasión los Ángeles.

**c) Cantera Cuntur Wasi.-** La siguiente figura 31, muestra una comparación entre la gradación requerida para la conformación de la capa Base y Sub Base de pavimentos según la EG-2013 y la gradación obtenida del análisis granulométrico de, esta cantera.



**FIGURA 31: Comparación entre la curva granulométrica de la cantera Cuntur Wasi y el rango especificado por la EG-2013.**



En la figura 31, se puede observar que la curva granulométrica de la Cantera Cuntur Wasi, no se encuentra dentro del rango especificado por la EG-2013, en consecuencia, esta cantera se considera como no apto para la conformación de una capa Base y Sub Base de Pavimentos.

Realizando una comparación entre la granulometría original de la cantera y la granulometría con adición de desechos de Policloruro de Vinilo (desechos retenidos en la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4) respecto a un peso determinado la variación no es considerable.

Además los desechos de Policloruro de Vinilo se le ha adicionado específicamente a esta cantera, para mejorar las propiedades del Valor Relativo de Soporte y el coeficiente de desgaste de Abrasión los Ángeles.

#### 4.1.2.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

##### a) Cantera Salcedo

**TABLA 70: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Salcedo con la EG-2013.**

|                              | CANTERA      | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b> | <b>2.60%</b> | <b>2% máx.</b>                 | <b>4% máx.</b>                     |

La tabla 70, muestra que el índice de plasticidad de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

#### b) Cantera Jallihuaya

**TABLA 71: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013.**

|                              | CANTERA      | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b> | <b>4.45%</b> | <b>2% máx.</b>                 | <b>4% máx.</b>                     |

La tabla 71, muestra que el índice de plasticidad de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

#### c) Cantera Cuntur Wasi

**TABLA 72: Comparación del Índice de Plasticidad de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013.**

|                              | CANTERA       | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) |
|------------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b> | <b>11.28%</b> | <b>2% máx.</b>                 | <b>4% máx.</b>                     |

La tabla 72, muestra que el índice de plasticidad de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

### 4.1.2.3. ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

#### a) Cantera Salcedo

**TABLA 73: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Salcedo con la EG-2013.**

|               | CANTERA | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(>= 3000 m.s.n.m.) |
|---------------|---------|--------------------------------|-------------------------------------|
| % DE DESGASTE | 40.29%  | 40% máx.                       | 50% máx.                            |

La tabla 73, muestra que el porcentaje de desgaste de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

#### b) Cantera Jallihuaya

**TABLA 74: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013.**

|               | CANTERA | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(>= 3000 m.s.n.m.) |
|---------------|---------|--------------------------------|-------------------------------------|
| % DE DESGASTE | 42.79%  | 40% máx.                       | 50% máx.                            |

La tabla 74, muestra que el porcentaje de desgaste de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

#### c) Cantera Cuntur Wasi

**TABLA 75: Comparación del porcentaje de desgaste de Abrasión de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013.**

|               | CANTERA | ESP. BASE<br>(> 3000 m.s.n.m.) | ESP. SUB BASE<br>(>= 3000 m.s.n.m.) |
|---------------|---------|--------------------------------|-------------------------------------|
| % DE DESGASTE | 40.33%  | 40% máx.                       | 50% máx.                            |

La tabla 75, muestra que el porcentaje de desgaste de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se considera como no apto.

### 4.1.2.4. PROCTOR MODIFICADO

a) **Cantera Salcedo.-** Las condiciones iniciales de la Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Optimo para esta cantera son 2.14 gr/cc y 6.02% respectivamente.

**b) Cantera Jallihuaya.-** Las condiciones iniciales de la Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Optimo para esta cantera son 2.19 gr/cc y 6.22% respectivamente.

**c) Cantera Cuntur Wasi.-** Las condiciones iniciales de la Máxima densidad Seca y el Contenido de Humedad Optimo para esta cantera son 1.85 gr/cc y 15.42% respectivamente.

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

##### a) Cantera Salcedo

**TABLA 76: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Salcedo con la EG-2013.**

|  | CANTERA | ESP. BASE<br>( $<10^6$ ) | ESP. BASE<br>( $\geq 10^6$ ) | ESP. SUB BASE<br>( $\geq 3000$ m.s.n.m.) |
|--|---------|--------------------------|------------------------------|--|
| CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca | 111%    | 80% min.                 | 100% min.                    | 40% min.                                 |

La tabla 76, muestra que el CBR de esta cantera, es superior a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera si se consideraría como apto para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, para la Propiedad de Valor Relativo de Soporte, sin embargo, como todas las propiedades trabajan en conjunto para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, basta que una propiedad no cumpla con los requerimientos de la EG-2013 (Granulometría, coeficiente de desgaste de Abrasión) para considerar a esta cantera como no apto.

##### b) Cantera Jallihuaya

**TABLA 77: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Jallihuaya con la EG-2013.**

|  | CANTERA | ESP. BASE<br>( $<10^6$ ) | ESP. BASE<br>( $\geq 10^6$ ) | ESP. SUB BASE<br>( $\geq 3000$ m.s.n.m.) |
|--|---------|--------------------------|------------------------------|--|
| CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca | 49%     | 80% min.                 | 100% min.                    | 40% min.                                 |

La tabla 77, muestra que el CBR de esta cantera, es menor a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se consideraría como no apto para la conformación de la capa Base de Pavimentos.

### c) Cantera Cuntur Wasi

**TABLA 78: Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Cantera Cuntur Wasi con la EG-2013.**

|  | CANTERA | ESP. BASE<br>(tráfico ligero) | ESP. BASE<br>(tráfico pesado) | ESP. SUB BASE<br>( $\geq 3000$ m.s.n.m.) |
|--|---------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca | 7%      | 80% min.                      | 100% min.                     | 40% min.                                 |

La tabla 78, muestra que el CBR de esta cantera, es menor a la requerida por la EG-2013, para la conformación de la capa Base y Sub Base de Pavimentos, por tanto, esta cantera se consideraría como no apto para la conformación de la capa Base y sub Base de Pavimentos.

## 4.2. ESTABILIZACIÓN DE LAS CANTERAS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO.

### 4.2.1. ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

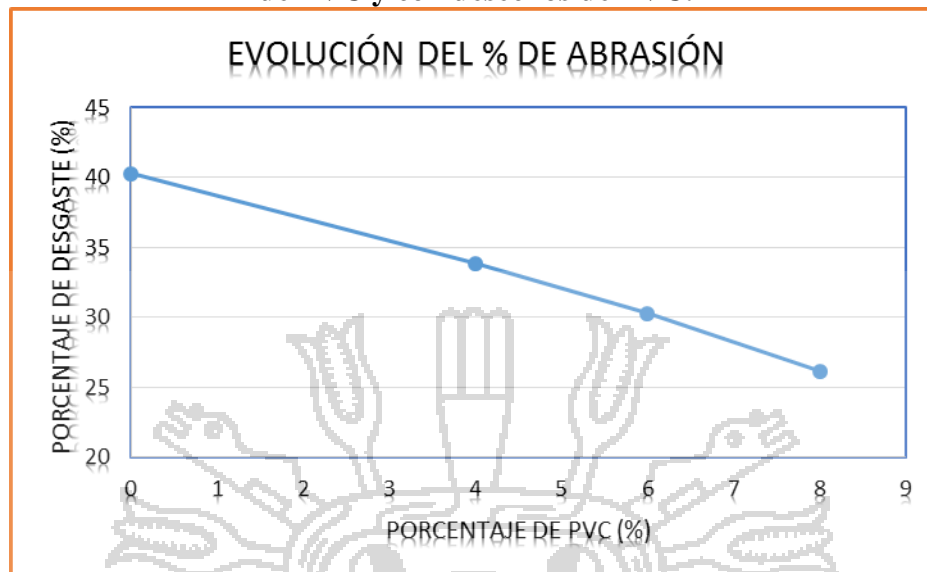
#### 4.2.1.1. RESULTADOS

##### a) Cantera Salcedo

**TABLA 79: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC.**

| CANTERA<br>SALCEDO | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |       |       |       |
|--------------------|--|-------|-------|-------|
|                    | 0%   | 4%    | 6%    | 8%    |
| % DE DESGASTE      | 40.29  | 33.86 | 30.29 | 26.16 |

**FIGURA 32: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC.**



La figura 32, muestra un descenso progresivo del porcentaje de desgaste de Abrasión de: 33.86%, 30.29% y 26.16% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). La característica de este material es que tiene forma *subangulosa* (partículas que son similares a la descripción angulosa pero tienen bordes redondeados), además tiene una clasificación SUCS SM (arena limosa). Las siguientes imágenes muestran como va influyendo la inclusión de desecho de Policloruro de Vinilo al 4, 6 y 8% en el material de cantera.



**IMAGEN 71: Muestra una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 72: Muestra una vez tamizado por la malla N° 12- Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 73: Muestra adicionándole 4% de PVC - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 74: Muestra al 4% de PVC una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 75: Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo.**





**IMAGEN 76: Muestra al 6% de PVC una vez sometido a Abrasión - Cantera Salcedo.**



**IMAGEN 77: Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo.**



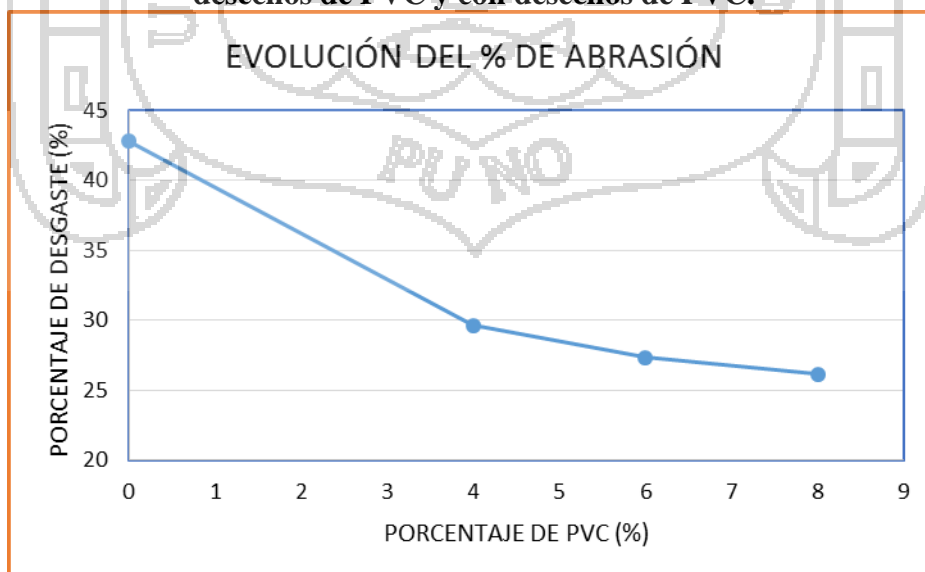
IMAGEN 78: Muestra al 8% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Salcedo.

d) Cantera Jallihuaya

TABLA 80: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC

| CANTERA JALLIHUAYA | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |       |       |       |
|--------------------|--|-------|-------|-------|
|                    | 0%   | 4%    | 6%    | 8%    |
| % DE DESGASTE      | 42.79  | 29.61 | 27.35 | 26.16 |

FIGURA 33: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC.



La figura 33, muestra un descenso progresivo del porcentaje de desgaste de Abrasión de: 29.61%, 27.35% y 26.16% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). La característica de este material es que tiene forma *Subredondeada* (partículas que tiene lados casi planos pero tiene esquinas y bordes bien redondeados), además tiene una clasificación SUCS GM-GC (Grava limosa arcillosa). Las siguientes imágenes muestran como va influyendo la inclusión de desecho de Policloruro de Vinilo al 4, 6 y 8% en el material de cantera.



IMAGEN 79: Muestra retenidos en las mallas 1", 3/4", 1/2" y 3/8" - Cantera Jallihuaya.



IMAGEN 80: Muestra al 0% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Jallihuaya.



**IMAGEN 81: Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 -  
Cantera Jallihuaya.**



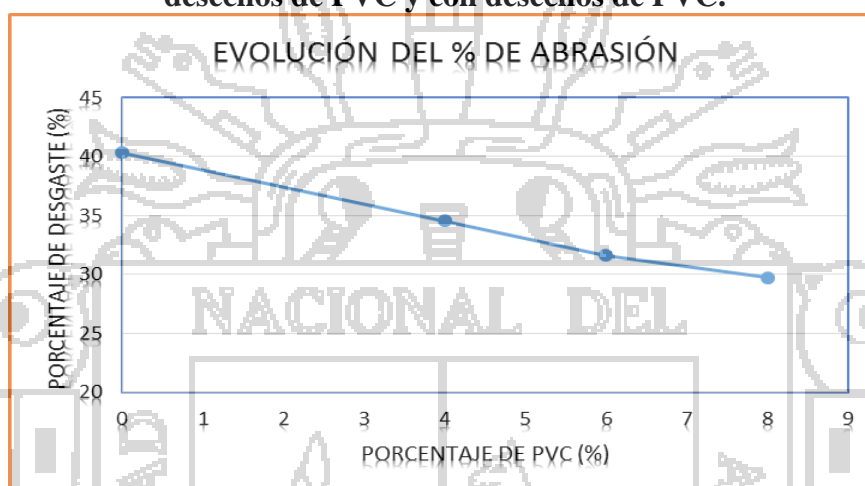
**IMAGEN 82: Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 -  
Cantera Jallihuaya.**



**IMAGEN 83: Muestra al 8% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera  
Jallihuaya.**

e) **Cantera Cuntur Wasi****TABLA 81: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

| CANTERA<br>CUNTUR WASI | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE<br>LA MALLA N° 4) |       |       |       |
|------------------------|---|-------|-------|-------|
|                        | 0%  | 4%    | 6%    | 8%    |
| % DE DESGASTE          | 40.33   | 34.53 | 31.59 | 29.72 |

**FIGURA 34: Porcentaje de desgaste del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC.**

La figura 34, muestra un descenso progresivo del porcentaje de desgaste de Abrasión de: 34.53%, 31.59% y 29.79% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4). La característica de este material es que tiene forma *angulosa* (Partículas que tienen bordes afilados y con superficies relativamente planos con superficies no pulidas), además tiene una clasificación SUCS: OL (arcilla orgánica de baja plasticidad). Las siguientes imágenes muestran como va influyendo la inclusión de desecho de Policloruro de Vinilo al 4, 6 y 8% en el material de cantera.



**IMAGEN 84:** Muestra al 0% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.



**IMAGEN 85:** Muestra al 4% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.



**IMAGEN 86:** Muestra al 6% de PVC una vez tamizado por la malla N° 12 - Cantera Cuntur Wasi.



#### 4.2.1.2. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados del ensayo de Abrasión los Ángeles de cada una de las canteras, se puede notar que mientras más se acerque un suelos a la descripción *redondeada* (partículas que tiene lados suavemente curvados y sin bordes), el desecho de Policloruro de Vinilo aportara más en la disminución del coeficiente de desgaste a la Abrasión.

Esta mayor eficiencia en la disminución del coeficiente de abrasión ocurre, debido a que el Desecho de Policloruro de Vinilo tiene mayor resistencia al impacto que el material de las canteras utilizadas para esta investigación, esto trae como consecuencia, el amortiguamiento entre partículas, al momento de realizar el ensayo de Abrasión los Ángeles (desecho de Policloruro de Vinilo - Material de Cantera).

Se puede observar también que en todos los casos, que a mayor porcentaje de Desecho de Policloruro de Vinilo, mayor es la disminución del coeficiente de Abrasión.

### 4.2.2. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

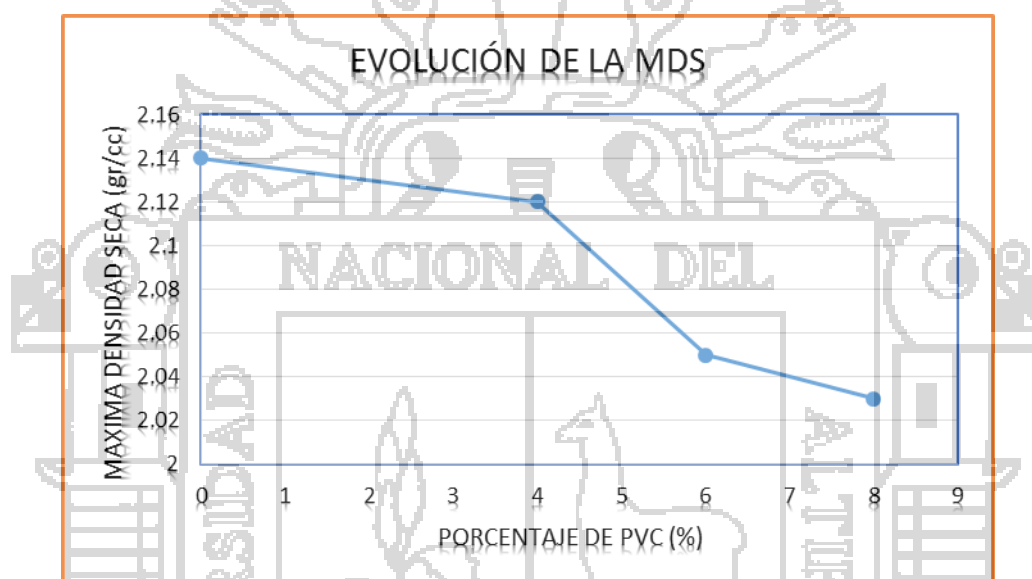
#### 4.2.2.1. RESULTADOS – CANTERA SALCEDO

## 4.2.2.1.1. MÁXIMA DENSIDAD SECA

**TABLA 82: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

| CANTERA SALCEDO              | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |      |      |
|------------------------------|--|------|------|------|
|                              | 0%   | 4%   | 6%   | 8%   |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc) | 2.14   | 2.12 | 2.05 | 2.03 |

**FIGURA 35: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC**



La figura 35, muestra un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca de: 2.12gr/cc, 2.05 gr/cc y 2.03 gr/cc al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

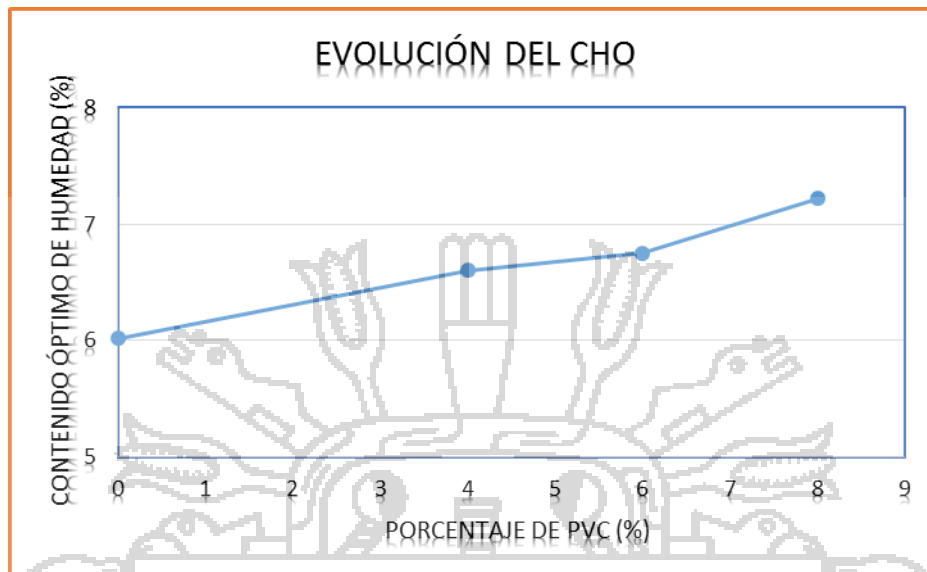
## 4.2.2.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO

**TABLA 83: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

| CANTERA SALCEDO    | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |      |      |
|--------------------|--|------|------|------|
|                    | 0%   | 4%   | 6%   | 8%   |
| HUMEDAD ÓPTIMA (%) | 6.02   | 6.60 | 6.75 | 7.22 |



**FIGURA 36: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

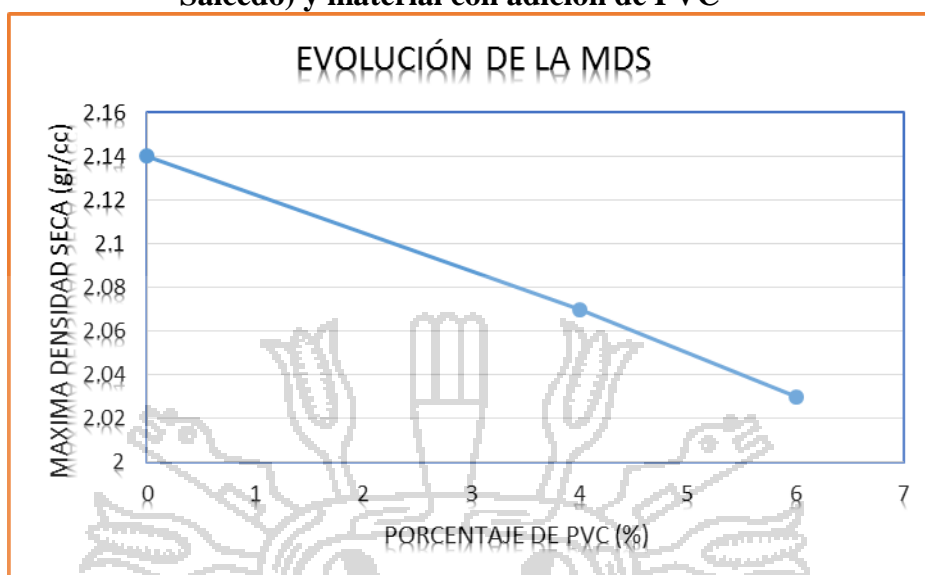


La figura 36, muestra un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo de: 6.60%, 6.75% y 7.22% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

**TABLA 84: Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

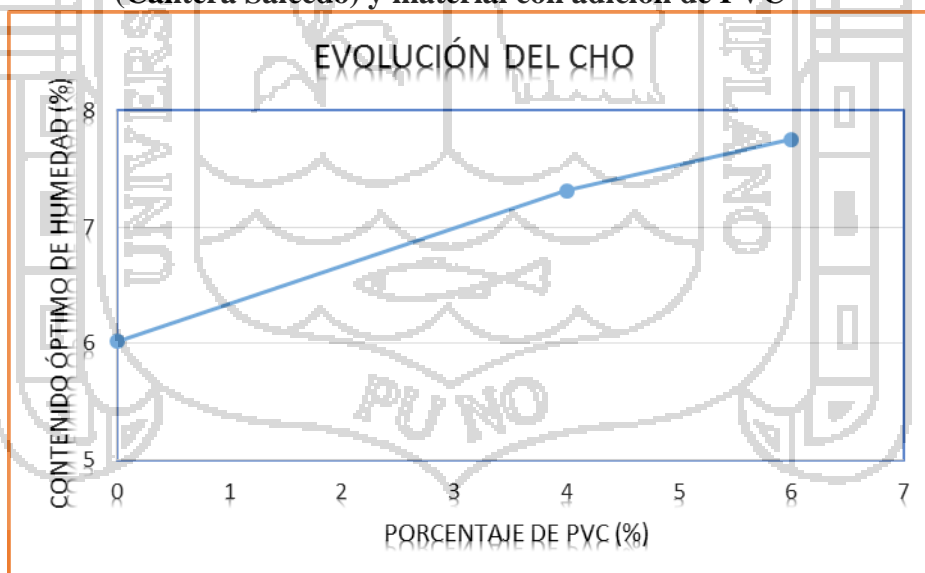
| CANTERA SALCEDO              | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |      |      |
|------------------------------|---|------|------|
|                              | 0%  | 4%   | 6%   |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc) | 2.14  | 2.07 | 2.03 |
| HUMEDAD ÓPTIMA (%)           | 6.02  | 7.31 | 7.75 |

**FIGURA 37: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC**



La figura 37, muestra un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca de: 2.07 gr/cc y 2.03 gr/cc al 4% y 6%, respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4").

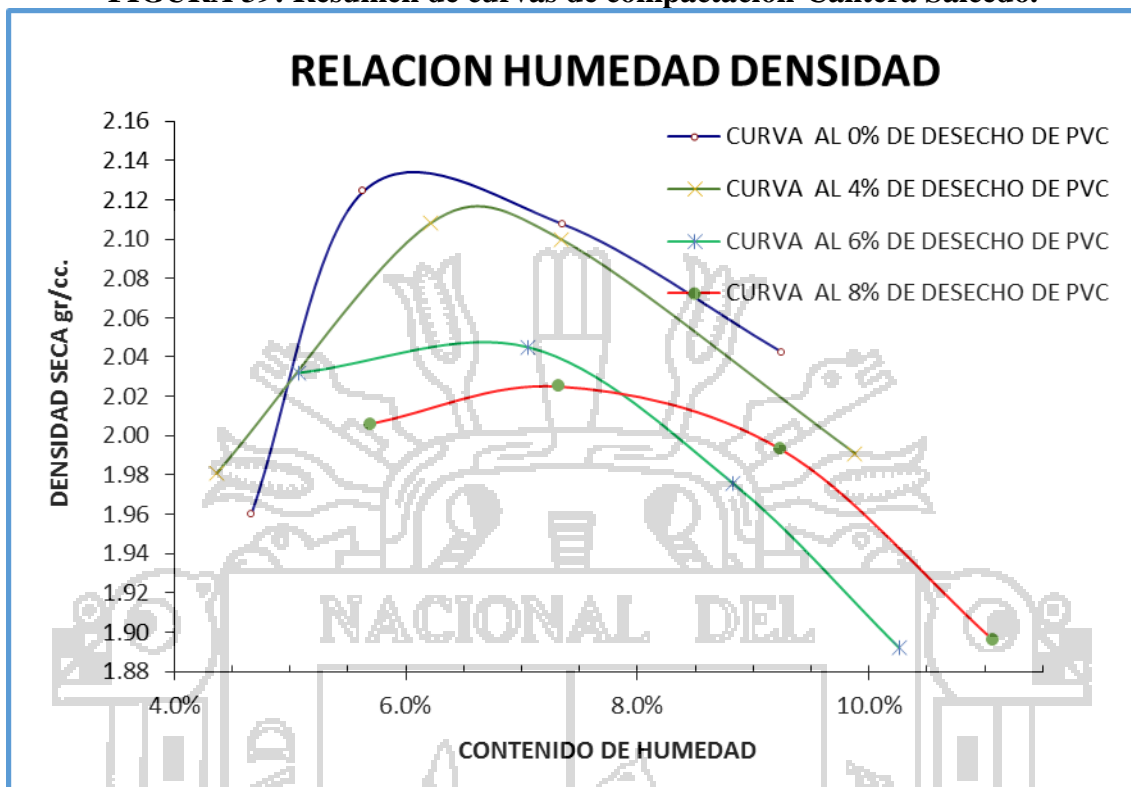
**FIGURA 38: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC**



La figura 38, muestra un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo de: 7.31% y 7.75% al 4% y 6% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4").

#### 4.2.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS-CANTERA SALCEDO

FIGURA 39: Resumen de curvas de compactación-Cantera Salcedo.



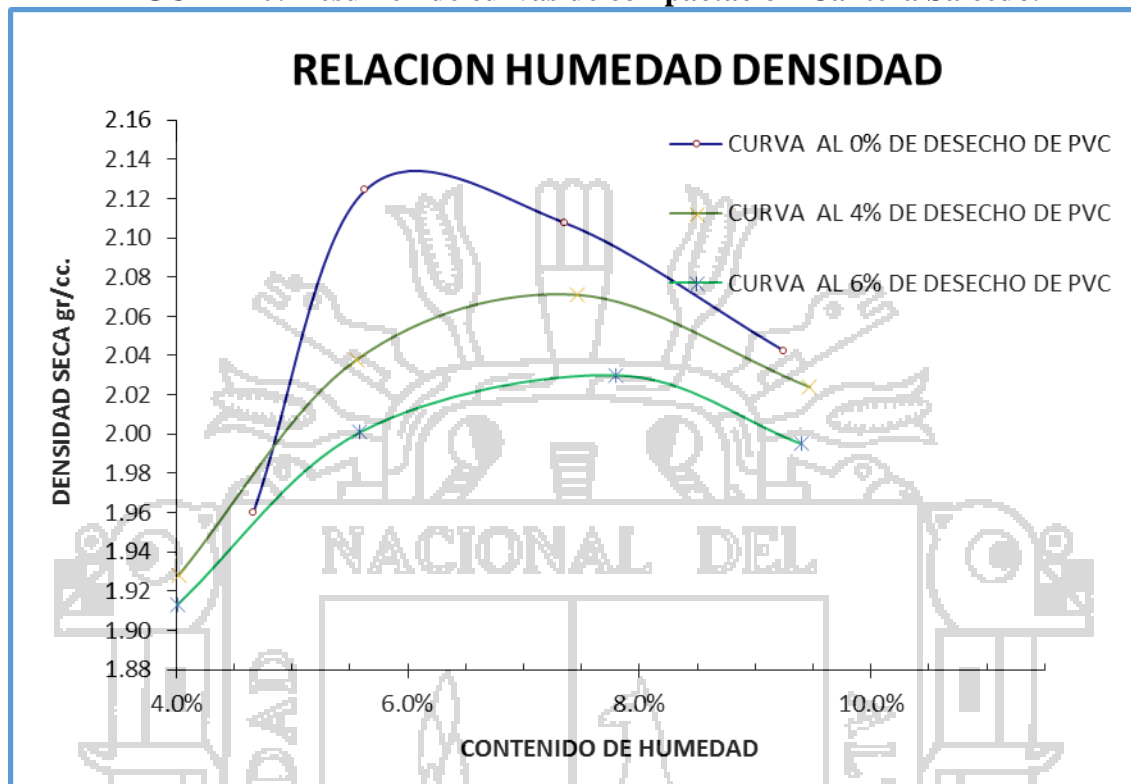
La figura 39, muestra un resumen de las curvas de compactación, con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

En la figura 39, se puede notar, un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca, esta disminución ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo tiene menos densidad que la del suelo, por ende, al ocupar un espacio que antes ocupaba el suelo la densidad disminuirá.

También en la figura 39, se puede notar un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo, este ascenso ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo necesita más agua, para que en conjunto con el suelo sea manejable, puesto que el desecho de Policloruro de vinilo no absorbe agua; y como las caras del desecho de PVC tienden a tener una superficie lisa y, este al contacto con el suelo resbalan, por ende, al momento de adicionar más agua, el suelo tendrá más humedad, como consecuencia, se adhiere de mejor manera a los desechos, de esta manera se logra obtener su Contenido de Humedad Óptimo, además que para esta cantera y sus ensayos de Proctor

Modificado se uso material (desechos de PVC) pasante la malla N° 4 y retenido en la malla N° 10.

**FIGURA 40: Resumen de curvas de compactación-Cantera Salcedo.**



La figura 40, muestra un resumen de las curvas de compactación con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4".

En la figura 40, se puede notar, un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca, esta disminución ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo tiene menos densidad que la del suelo, por ende, al ocupar un espacio que antes ocupaba el suelo la densidad disminuirá.

También en la figura 40, se puede notar un ascenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo, este ascenso ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo necesita más agua, para que en conjunto con el suelo sea manejable, y como las caras del desecho de PVC con este diámetro mas grande (Desecho de PVC retenido en la malla N°3/8 y pasante la malla N° 3/4), tienden a tener una superficie lisa y, este al contacto con el suelo resbalan, por ende, al momento de adicionar más agua, el suelo

tendrá más humedad, como consecuencia, se adhiere de mejor manera a los desechos, de esta manera se logra obtener su Contenido de Humedad Óptimo, además que para esta cantera y sus ensayos de Proctor Modificado se uso material (desechos de PVC) pasante la malla N° ¾” y retenido en la malla N° 3/8”.

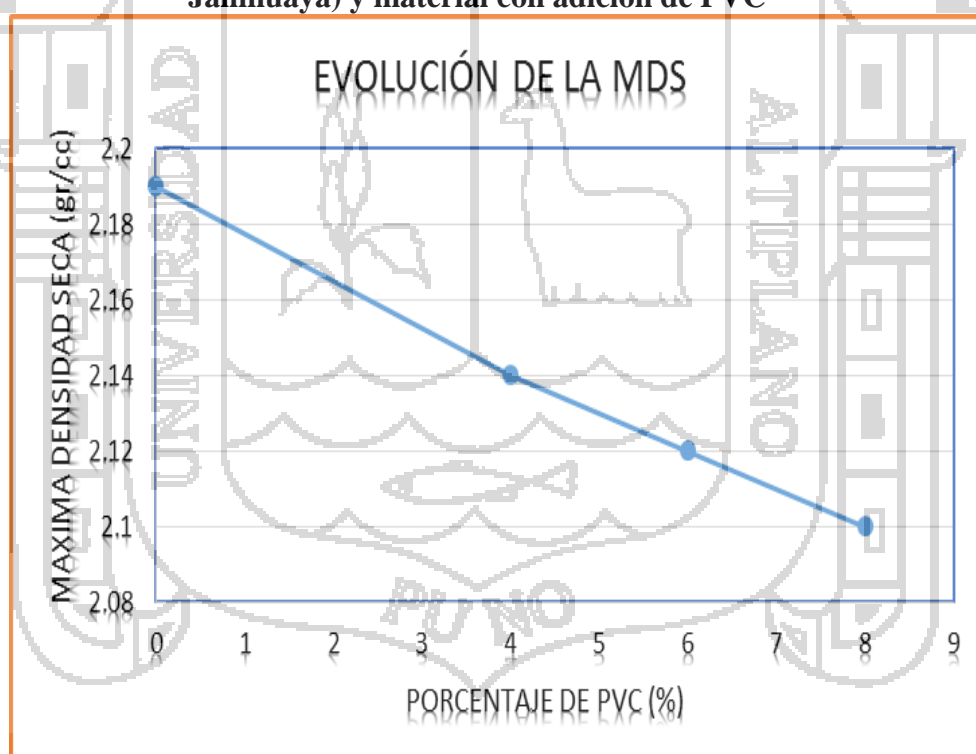
### 4.2.2.3. RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA.

#### 4.2.2.3.1. MÁXIMA DENSIDAD SECA

**TABLA 85: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

| CANTERA JALLIHUAYA           | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |      |      |
|------------------------------|--|------|------|------|
|                              | 0%   | 4%   | 6%   | 8%   |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc) | 2.19   | 2.14 | 2.12 | 2.10 |

**FIGURA 41: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC**



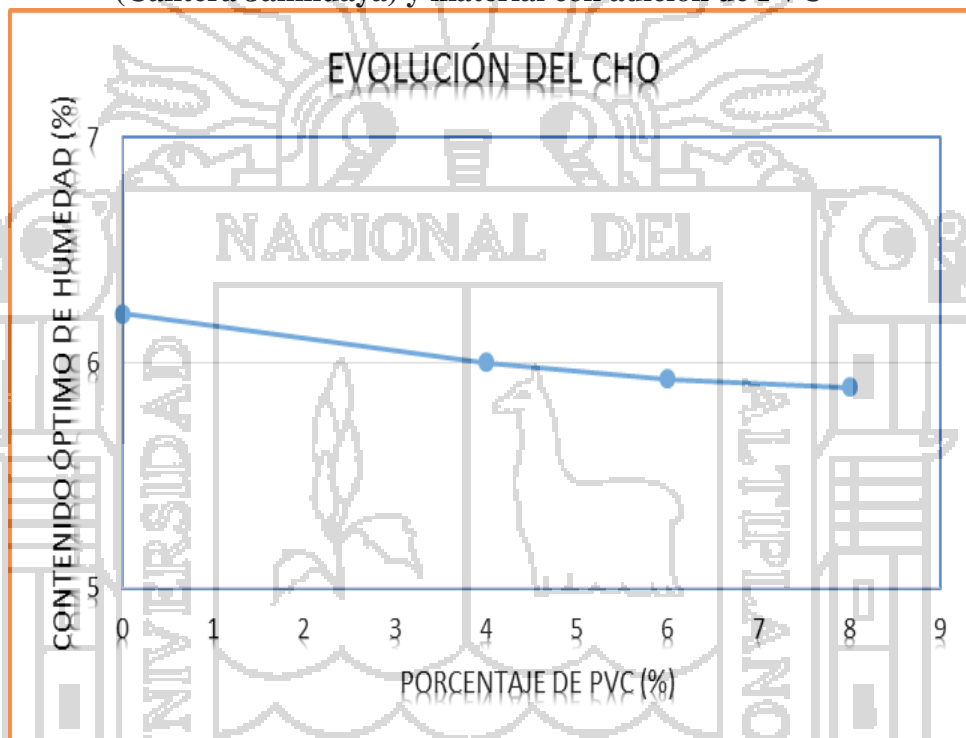
La figura 41, muestra un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca de: 2.14gr/cc, 2.12 gr/cc y 2.10 gr/cc al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

**4.2.2.3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO**

**TABLA 86: Contenido de Humedad Óptimo del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC**

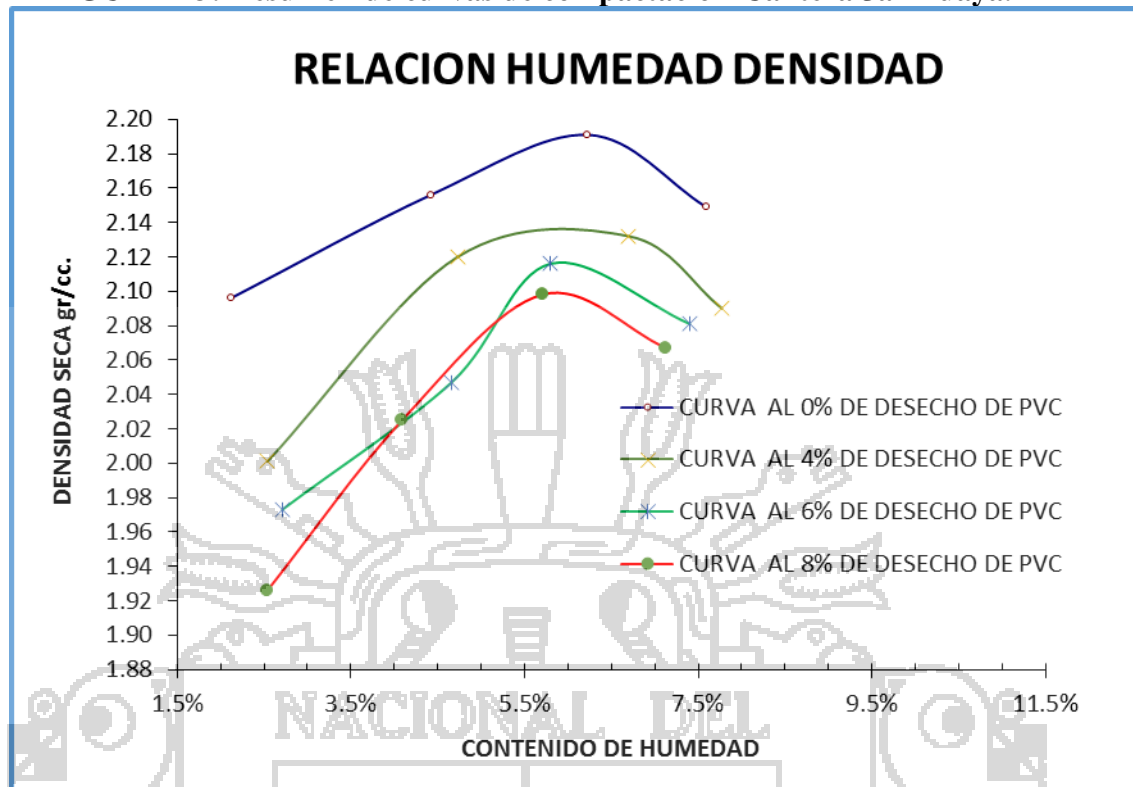
| CANTERA JALLIHUAYA | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |      |      |
|--------------------|--|------|------|------|
|                    | 0%   | 4%   | 6%   | 8%   |
| HUMEDAD ÓPTIMA (%) | 6.22   | 6.00 | 5.93 | 5.89 |

**FIGURA 42: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC**



La figura 42, muestra un descenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo de: 6.00%, 5.93% y 5.89% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

**4.2.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS - CANTERA JALLIHUAYA**

**FIGURA 43: Resumen de curvas de compactación-Cantera Jallihuaya.**

La figura 43, muestra un resumen de las curvas de compactación con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

En la figura 43, se puede notar, un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca, esta disminución ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo tiene menos densidad que la del suelo, por ende, al ocupar un espacio que antes ocupaba el suelo la densidad disminuirá.

También en la figura 43, se puede notar un descenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo, este descenso ocurre debido a que el material usado en los ensayos para esta cantera fue la pasante la malla N° ¾" (método de compactación C) y al momento de la compactación con el martillo de 10 lb, las partículas grandes se desmenuzaban y/o se rompían, lo que hace que se produzca partículas secas que absorben el agua. A pesar que el desecho de Policloruro de Vinilo amortigua el golpe entre partículas grandes, siempre habrá más contacto mientras más desecho de Policloruro de Vinilo tenga el suelo y, esto repercute más en las partículas de suelo más pequeñas haciendo también que, estos se desmenucen y creen partículas secas que

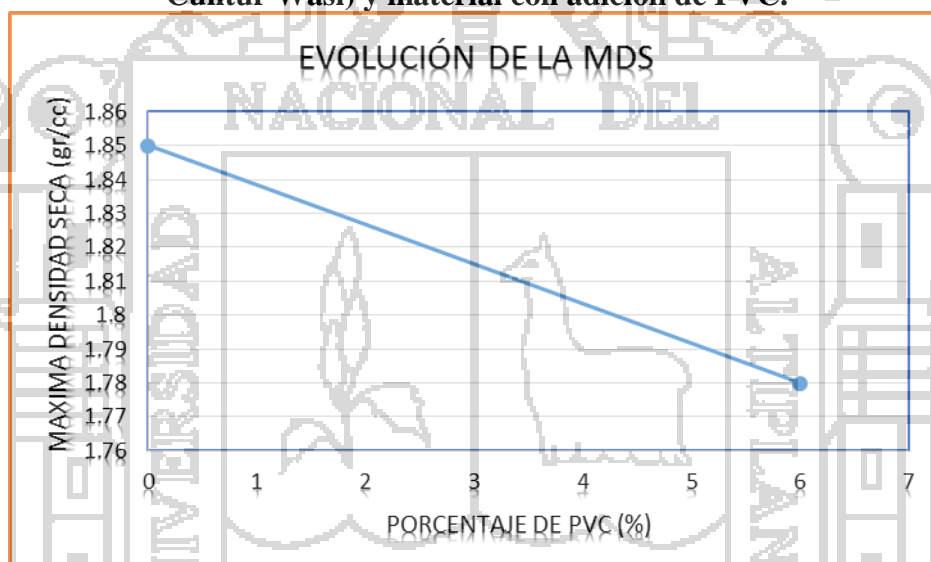
absorben agua, sin embargo, la cantidad de agua que disminuye es poca en comparación a la disminución del coeficiente de desgaste a la Abrasión que produce el desecho de Policloruro de Vinilo.

#### 4.2.2.5. RESULTADOS DE LA CANTERA-CUNTUR WASI.

**TABLA 87: Máxima Densidad Seca del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC.**

| CANTERA CUNTUR WASI          | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |
|------------------------------|--|------|
|                              | 0%   | 6%   |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc) | 1.85   | 1.78 |

**FIGURA 44: Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Cuntur Wasi) y material con adición de PVC.**



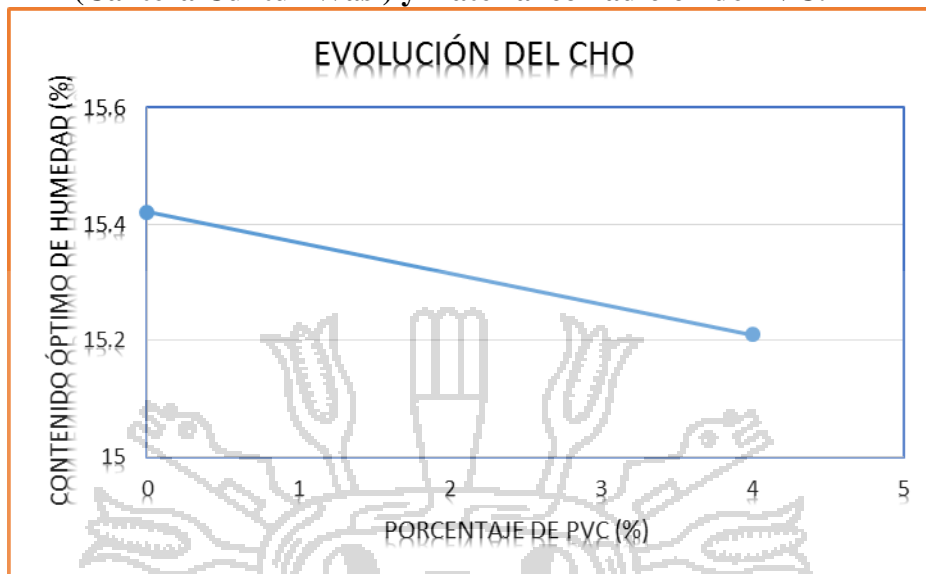
La figura 44, muestra un descenso de la Máxima Densidad Seca de: 1.85 gr/cc al 0%, de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).

**TABLA 88: Contenido de Humedad Óptimo del material de cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC.**

| CANTERA CUNTUR WASI | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |       |
|---------------------|--|-------|
|                     | 0%   | 6%    |
| HUMEDAD ÓPTIMA (%)  | 15.42  | 15.21 |



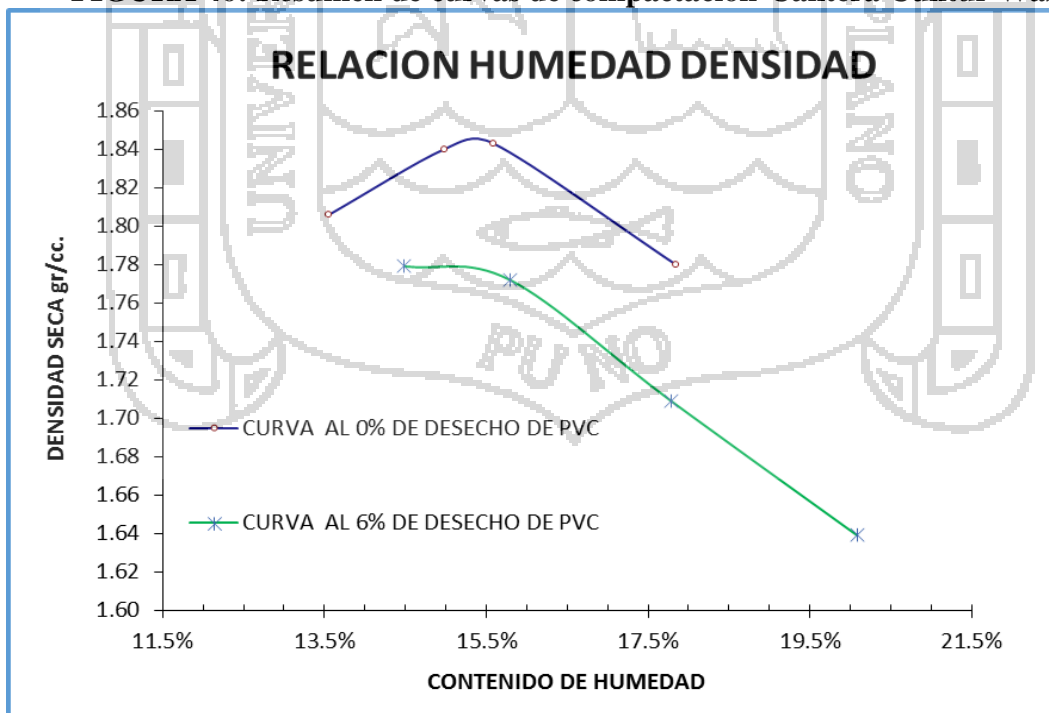
**FIGURA 45: Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Cuntur Wasi) y material con adición de PVC.**



La figura 45, muestra un descenso del Contenido de Humedad Óptimo de: 15.21% al 6% de adición de desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

#### 4.2.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS CANTERA - CUNTUR WASI

**FIGURA 46: Resumen de curvas de compactación-Cantera Cuntur Wasi.**



La figura 46, muestra un resumen de las curvas de compactación con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

En la figura 46, se puede notar, un descenso progresivo de la Máxima Densidad Seca, esta disminución ocurre debido a que el desecho de Policloruro de Vinilo tiene menos densidad que la del suelo, por ende, al ocupar un espacio que antes ocupaba el suelo la densidad disminuirá.

También en la figura 46, se puede notar un descenso progresivo del Contenido de Humedad Óptimo, este descenso ocurre debido a que el material usado en los ensayos para esta cantera fue la pasante la malla N°4 (método de compactación A), además un detalle de esta cantera es que las partículas mas pequeñas se encontraban intemperizadas y tenían una descripción angulosa, y al momento de la compactación con el martillo de 10 lb, las partículas se desmenuzaban y/o se rompían, lo que hace que se produzca partículas secas que absorben el agua. A pesar que el desecho de policloruro de vinilo amortigua el golpe entre partículas grandes, siempre habrá más contacto mientras más desecho de Policloruro de Vinilo tenga el suelo y esto repercute más en las partículas de suelo más pequeñas, sin embargo, la cantidad de agua que se disminuye es poca en comparación a la disminución del coeficiente de desgaste de la Abrasión que produce el desecho de Policloruro de Vinilo.

### 4.2.3. ENSAYO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

#### 4.2.3.1. RESULTADOS DE LA CANTERA SALCEDO

**TABLA 89: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca.**

| CANTERA SALCEDO |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |     |     |     |
|-----------------|------------------|--|-----|-----|-----|
| PROPIEDAD       | NUMERO DE GOLPES | 0%   | 4%  | 6%  | 8%  |
| CBR (%)         | 12               | 3  | 20  | 15  | 28  |
|                 | 25               | 34   | 54  | 55  | 95  |
|                 | 56               | 111  | 132 | 127 | 138 |



La tabla 89, muestra para los 12 golpes de compactación un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 20%, 15% y 28% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

La tabla 89, también muestra para los 25 golpes de compactación, un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 54%, 55% y 95% al 4% , 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

Así mismo para los 56 golpes de compactación, muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 132%, 127% y 138% al 4%, 6% y 8% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

**TABLA 90: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Salcedo sin desechos de PVC y con desechos de PVC, al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO |                  | PORCENTAJE DE PVC (RET. EN LA MALLA N° 3/8" PAS. LA MALLA N° 3/4") |    |    |
|-----------------|------------------|--|----|----|
| PROPIEDAD       | NUMERO DE GOLPES | 0%   | 4% | 6% |
| CBR (%)         | 12               | 3  | 28 | 39 |
|                 | 25               | 34   | 82 | 77 |
|                 | 56               | 111  | 96 | 82 |

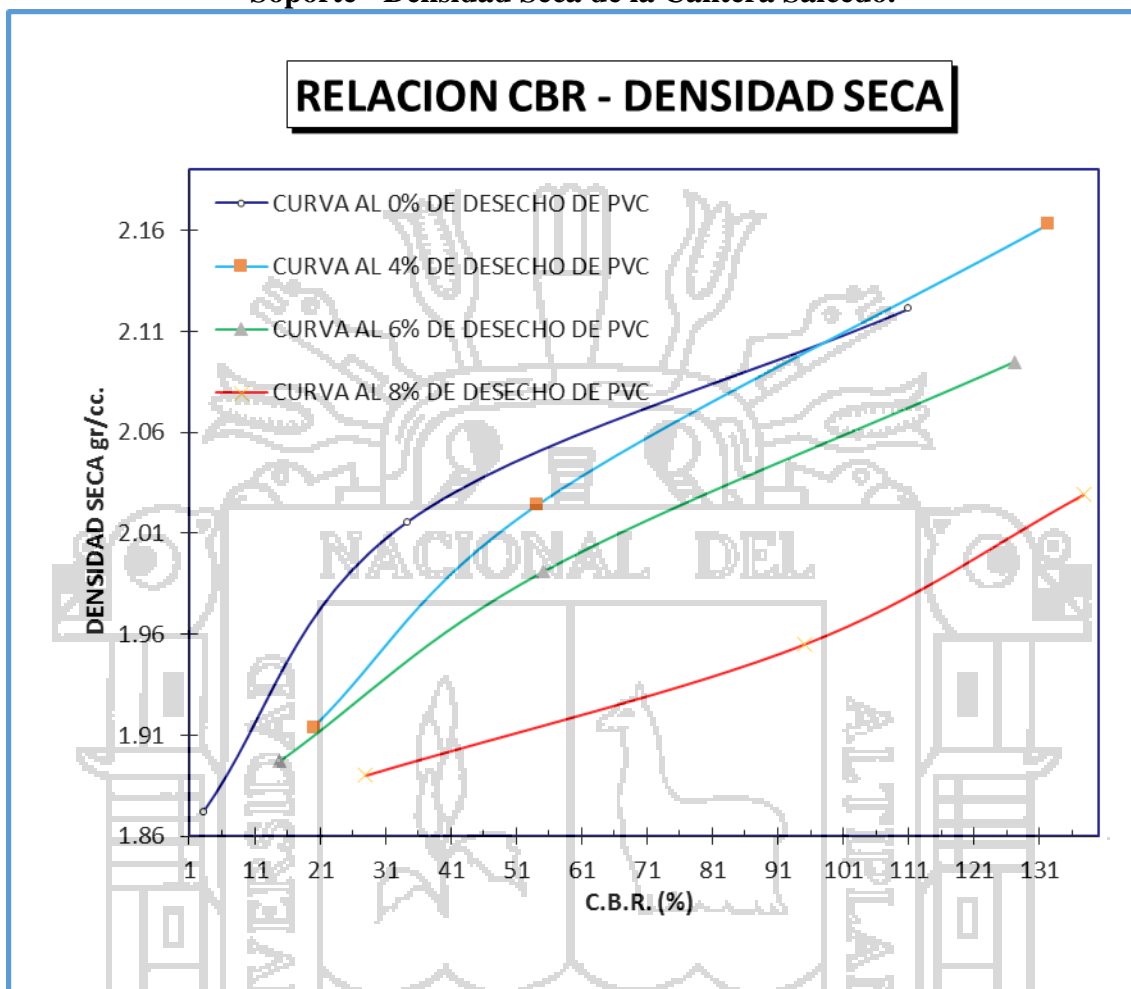
La tabla 90, muestra para los 12 golpes de compactación un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 28% y 39% al 4% y 6% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

La tabla 90, también muestra para los 25 golpes de compactación, un ascenso del Valor Relativo de Soporte de: 82% y 77% al 4% y 6% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo, respecto al 0% de desecho de Polocloruro de Vinilo.

Así mismo para los 56 golpes de compactación, muestra un descenso progresivo del Valor Relativo de Soporte de: 96% y 82% al 4% y 6% respectivamente de adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

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

**FIGURA 47: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Salcedo.**



La figura 47, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad Seca, con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

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

Para los 12 golpes de compactación se muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte (CBR), este ascenso ocurre debido a que para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material (suelo) pasante la malla N° 4 (Método de compactación A), sin embargo, se puede notar que al 6% de desecho de PVC el CBR, disminuye en 5% respecto del CBR al 4% de desecho de PVC, esto ocurre debido a que al 6% de

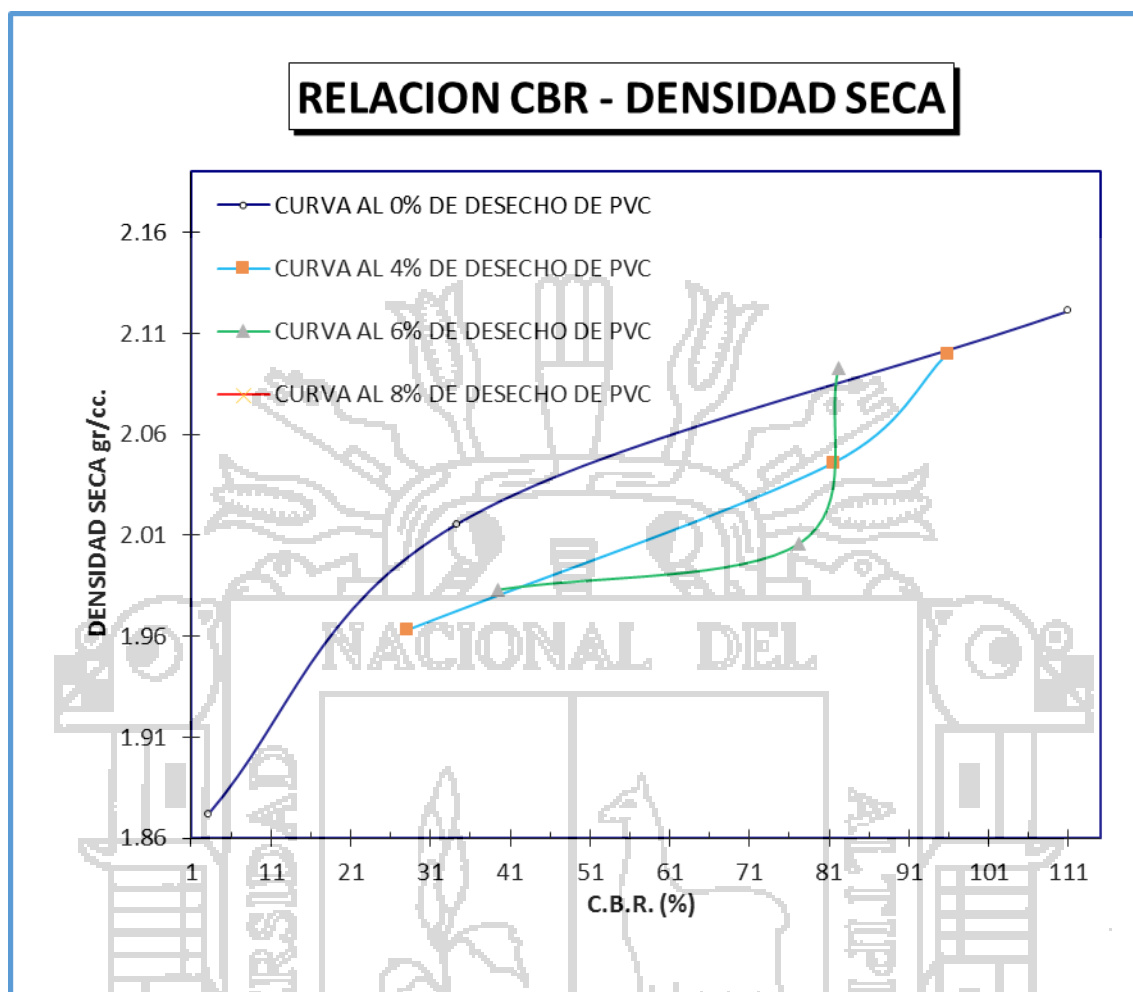
desecho, la densidad disminuye y no existe suficiente contacto entre partículas, pero, también se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR aumenta, puesto que hay mucho más contacto entre partículas. Este contacto entre partículas, aumenta el CBR, debido a que la superficie de los desechos tienden a tener una superficie plana y distribuyen de manera uniforme los esfuerzos al suelo.

También se puede destacar que para los 25 golpes de compactación se muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte, este ascenso ocurre debido a que para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material (suelo) pasante la malla N° 4 (Método de compactación A), sin embargo se puede notar que al 6% de desecho de PVC, solo aumenta en 1% respecto del CBR al 4% de desecho de PVC, esto ocurre debido a que al 6% de desecho, la densidad disminuye y no existe suficiente contacto entre partículas, pero, también se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR aumenta, puesto que hay mucho más contacto entre partículas. Este contacto entre partículas aumenta el CBR, debido a que la superficie de los desechos tienden a tener una superficie plana y distribuyen de manera uniforme los esfuerzos al suelo.

Finalmente también se puede resaltar que para los 56 golpes de compactación con la cual se determina la Máxima Densidad Seca del material de cantera, se muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte, este ascenso ocurre debido a que para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material pasante la malla N° 4 (Método de compactación A), sin embargo se puede notar que al 6% de desecho de PVC el CBR, disminuye en 5% respecto del CBR al 4% de desecho de PVC, esto ocurre debido a que al 6% de desecho, la densidad disminuye y no existe suficiente contacto entre partículas, pero, también se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR aumenta, puesto que hay mucho más contacto entre partículas. Este contacto entre partículas aumenta el CBR, debido a que la superficie de los desechos tienden a tener una superficie plana y distribuyen de manera uniforme los esfuerzos al suelo.

La figura 47, muestra una ligera disminución del CBR al 6% de desecho PVC, sin embargo, este porcentaje de CBR, sigue representando un aumento considerable respecto al CBR de la muestra patrón.

**FIGURA 48: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Salcedo.**



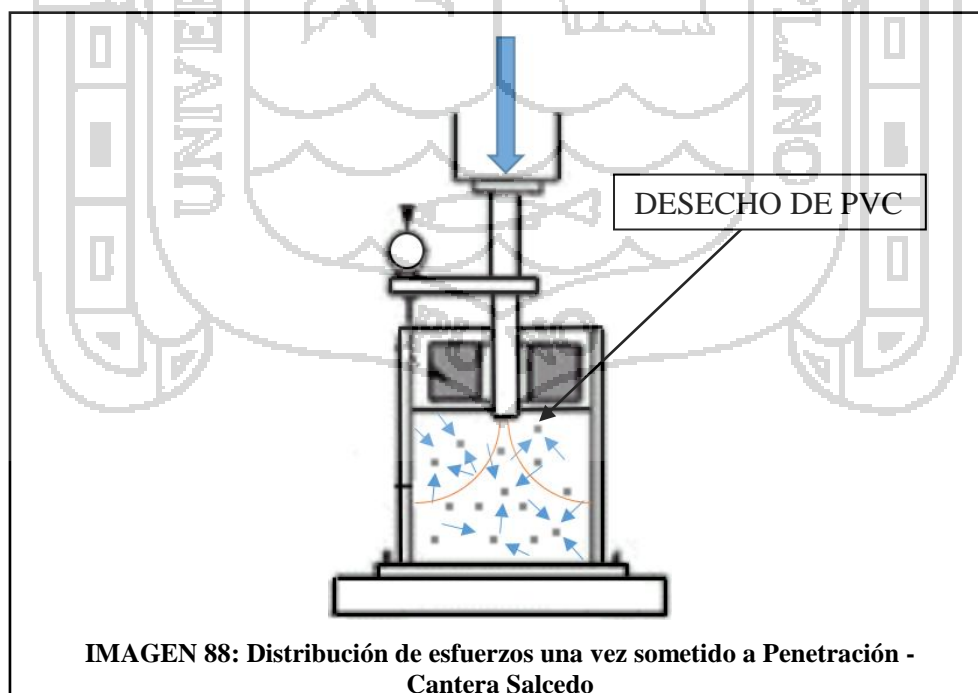
La figura 48, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad seca, con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4".

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

Para los 12 golpes de compactación se muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte (CBR), este ascenso ocurre debido a que para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material pasante la malla N° 4 (Método de compactación A) y puesto, que el tamaño del desecho de PVC es mayor y tiene una superficie plana, en consecuencia, distribuye de manera uniforme los esfuerzos en el suelo.

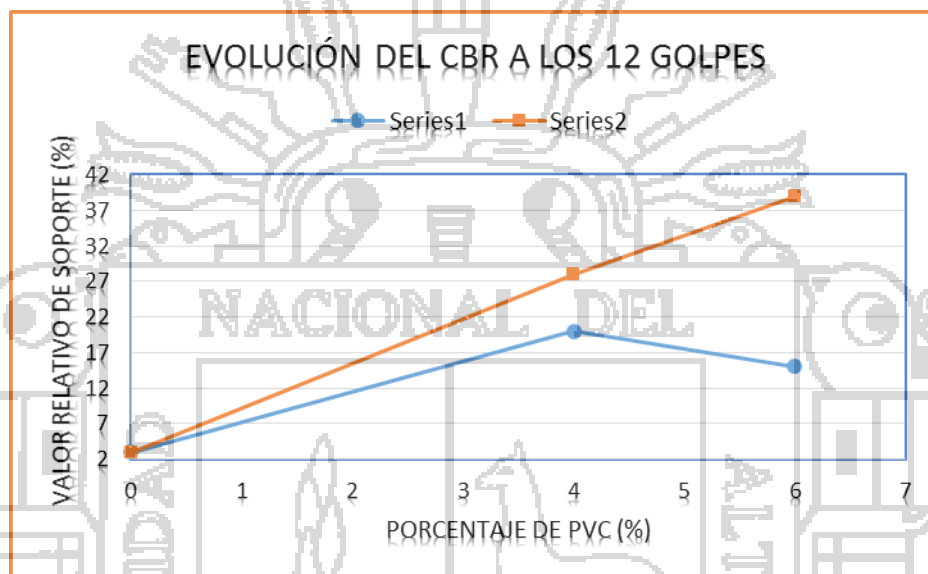
También se puede destacar que para los 25 golpes de compactación se muestra un ascenso progresivo del Valor Relativo de Soporte, este ascenso ocurre debido a que, para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material (suelo) pasante la malla N° 4 (Método de compactación A), puesto, que el tamaño del desecho de PVC es mayor y tiene una superficie plana, en consecuencia, distribuye de manera uniforme los esfuerzos en el suelo, sin embargo, se puede ver que al 6% de desecho de PVC, el CBR disminuye, esto ocurre porque, cuanto mayor es la cantidad de desecho y por ser, este de un tamaño mayor, cuando mas compactación haya, estos tienden a reacomodarse y que al finalizar la compactación las partículas no se reacomodan de manera uniforme, esto hace que el CBR disminuya.

Finalmente también se puede resaltar que para los 56 golpes de compactación con la cual se determina la Máxima Densidad Seca del material de cantera, se muestra un descenso progresivo del Valor Relativo de Soporte, este descenso ocurre debido a que, para esta cantera y sus ensayos de CBR se usó material (suelo) pasante la malla N° 4 (método de compactación A) y porque, cuanto mayor es la cantidad de desecho, y por ser, este de un tamaño mayor, cuando mas compactación haya, estos tienden a reacomodarse y que al finalizar la compactación las partículas no se reacomodan de manera uniforme, esto hace que el CBR disminuya de manera considerable.



#### 4.2.3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CANTERA SALCEDO CON ADICIÓN DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" Y PASANTE LA MALLA N° 3/4" VS PVC RETENIDO EN LA MALLA N° 10 Y PASANTE LA MALLA N° 4.

FIGURA 49: CBR a los 12 golpes al 100% de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC



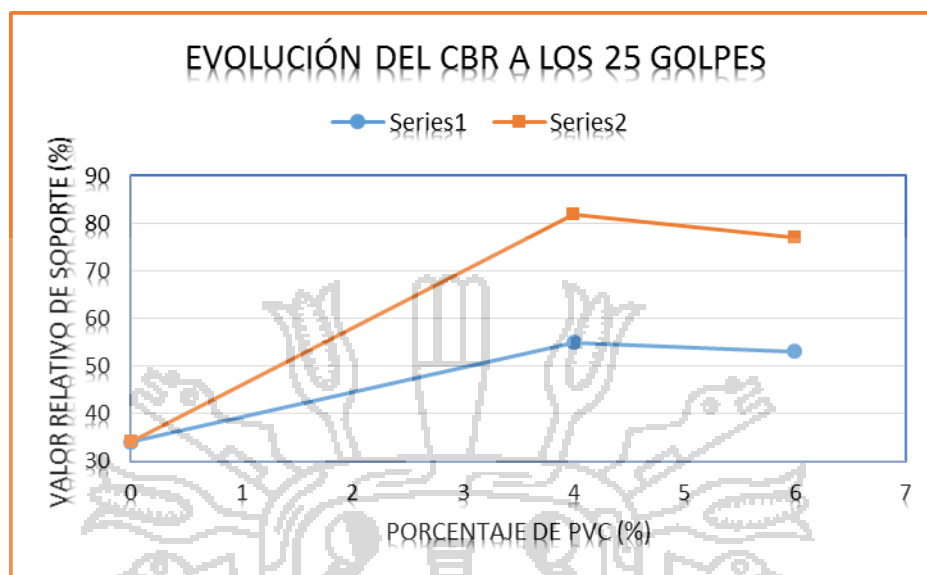
*Series 1 = CBR con desecho de PVC retenido en la malla N° 10 pasante la malla N° 4*

*Series 2 = CBR con desecho de PVC retenido en la malla N° 3/8" pasante la malla N° 3/4"*

La figura 49, muestra claramente que, cuanto menor sea la compactación, las partículas de desecho de Policloruro de Vinilo de mayor tamaño (retenidos en la malla N° 3/8" y pasantes la malla N° 3/4") se reacomodaran de mejor manera y se tendrá un CBR mucho mayor que, cuando se usa desechos de PVC con tamaños menores (retenidos por la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4).



**FIGURA 50: CBR a los 25 golpes al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC**

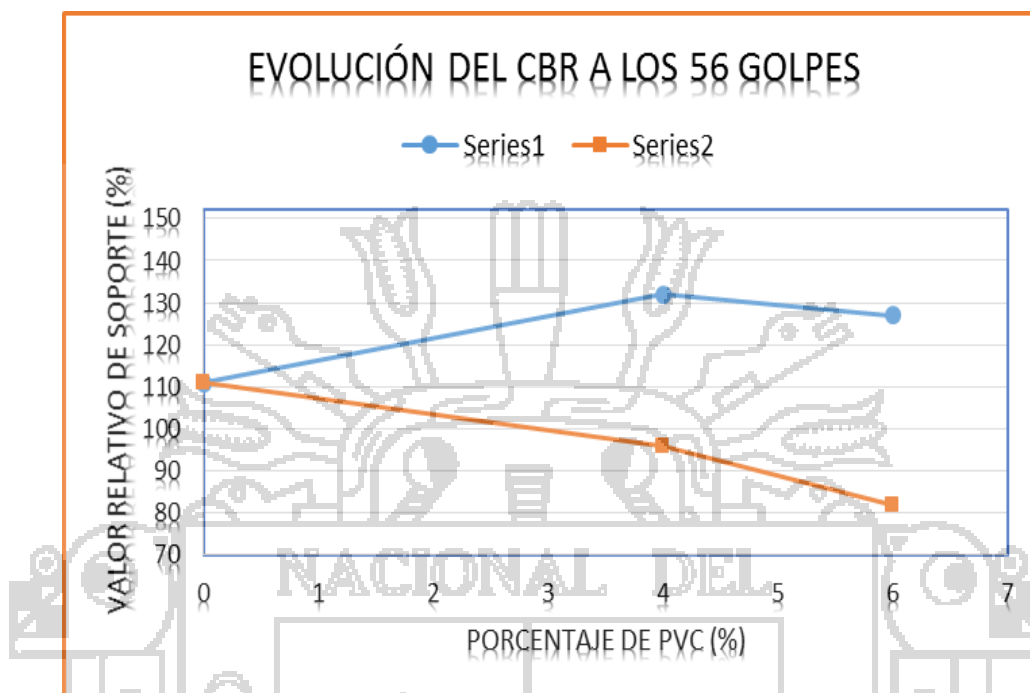


*Series 1 = CBR con desecho de PVC retenido en la malla N° 10 pasante la malla N° 4*

*Series 2 = CBR con desecho de PVC retenido en la malla N° 3/8" pasante la malla N° 3/4"*

La figura 50, muestra claramente que, cuanto menor sea la compactación, las partículas de desecho de Policloruro de Vinilo de mayor tamaño (retenidos en la malla N° 3/8" y pasantes la malla N° 3/4") se reacomodaran de mejor manera y se tendrá un CBR mucho mayor que cuando se usa desechos de PVC con tamaños menores (retenidos por la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4), sin embargo, cuando aumenta la cantidad de desecho de PVC de tamaños mayores y aumenta la compactación, se puede notar que el CBR empieza a disminuir, de manera contraria ocurre cuando se usa desechos de policloruro de vinilo con tamaños menores, puesto que en este caso el CBR empieza a aumentar.

**FIGURA 51: CBR a los 56 golpes al 100% de la máxima densidad seca, para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC**



*Serie 1 = CBR con PVC retenido en la malla N° 10 pasante la malla N° 4*

*Serie 2 = CBR con PVC retenido en la malla N° 3/8" pasante la malla N° 3/4"*

La figura 51, muestra claramente que cuando aumenta la cantidad de desecho PVC de tamaños mayores y aumenta la compactación se puede notar que el CBR empieza a disminuir de manera considerable, de manera contraria ocurre que cuando se usa desechos de Policloruro de Vinilo con tamaños menores, puesto que en este caso el CBR es mayor.

De los resultados obtenidos experimentando con ambos diámetros de desecho de Policloruro de Vinilo, se puede ver que al 100% de la Máxima Densidad Seca, el tamaño que mejor se comporta y aumenta el Valor Relativo de Soporte, es el retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4. Tomando esta conclusión como referencia, se decidió realizar los ensayos de Proctor Modificado y Valor Relativo de Soporte para la cantera Jallihuaya solo con tamaños menores de desecho de Policloruro de Vinilo (retenidos por la malla N° 10 y pasantes la malla N° 4).

#### 4.2.3.4. RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA

**TABLA 91: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Jallihuaya sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA JALLIHUAYA |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |    |    |     |
|--------------------|------------------|--|----|----|-----|
| PROPIEDAD          | NUMERO DE GOLPES | 0%   | 4% | 6% | 8%  |
| CBR (%)            | 12               | 38   | 51 | 51 | 43  |
|                    | 25               | 58   | 91 | 98 | 110 |
|                    | 56               | 49   | 85 | 98 | 94  |

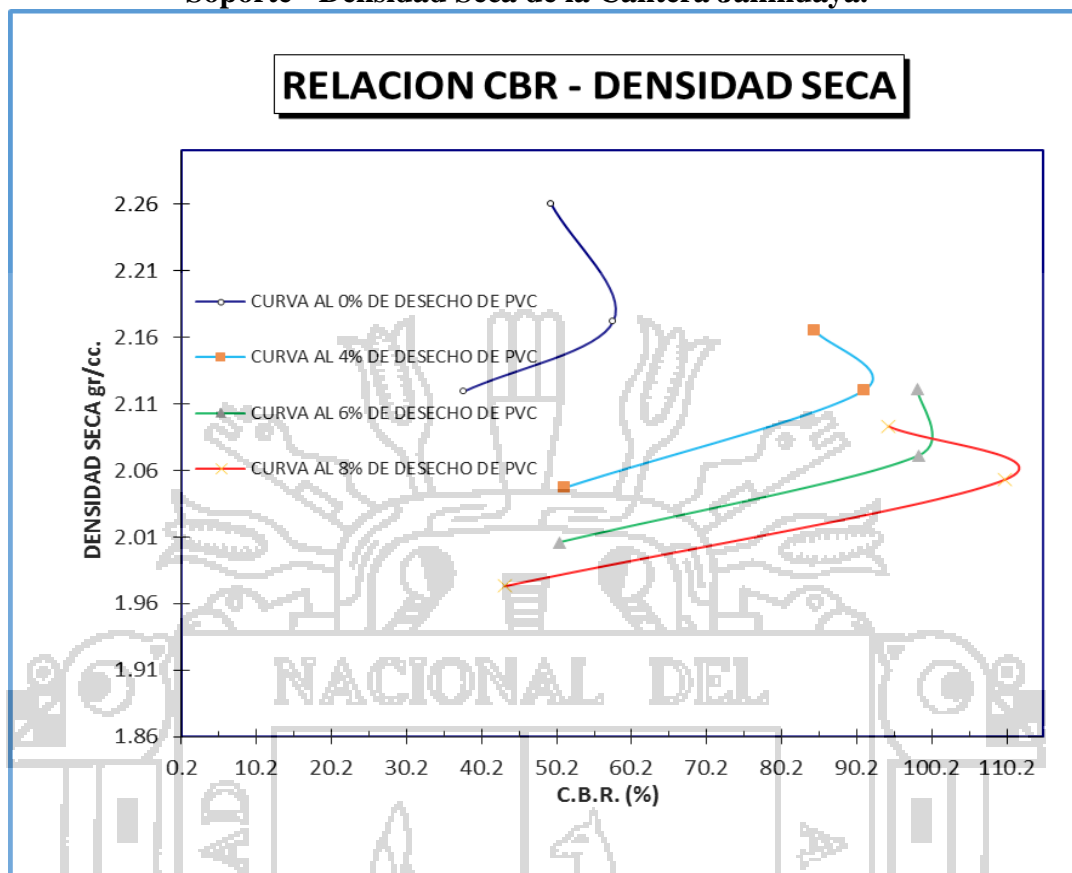
La tabla 91, muestra para los 12 golpes de compactación una variación del CBR de 51%, 51% y 43% al 4%, 6% y 8% respectivamente de la adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

La tabla 91, también muestra una variación del CBR de 91%, 98% y 110% al 4%, 6% y 8% respectivamente de la adición de desecho de Policloruro de Vinilo, a los 25 golpes de compactación.

Finalmente también se puede resaltar que para los 56 golpes de compactación con la cual se determina la Máxima Densidad Seca del material de cantera, se muestra una variación del Valor Relativo de Soporte de 85%, 98% y 94% al 4%, 6% y 8% respectivamente de la adición de desecho de Policloruro de Vinilo.

#### 4.2.3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CANTERA JALLIHUAYA

**FIGURA 52: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Jallihuaya.**



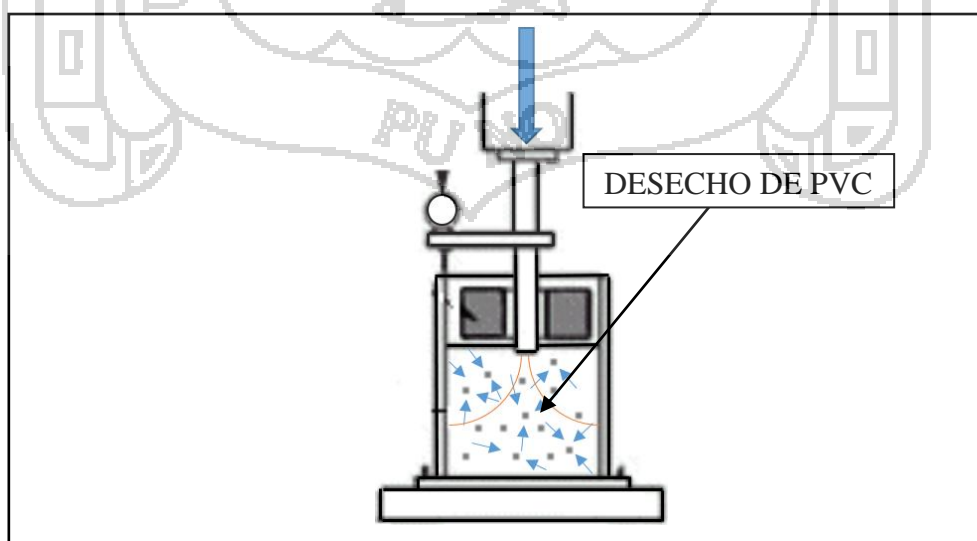
La figura 52, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad Seca, con adición de desecho de Policloruro de Vinilo de diámetro retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

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

Para los 12 golpes de compactación se muestra un ascenso del Valor Relativo de Soporte (CBR), este ascenso ocurre debido a que el material (suelo) usado para los ensayos de CBR para esta cantera fue la pasante la malla N° 3/4" (Método de Compactación C) el cual presenta un mejor comportamiento conjuntamente con los desechos de PVC, puesto que el desecho al momento de la compactación no permite que las partículas grandes de suelo se desmenucen y/o rompan con facilidad, en consecuencia, al finalizar la compactación se tendrá una muestra final con una gran cantidad de partículas grandes de suelo, esto trae como consecuencia un aumento del Valor Relativo de Soporte, sin embargo, se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR disminuye debido a que la densidad también disminuye, pero sigue presentando un aumento de 15% respecto a la muestra patrón.

También se puede destacar que para los 25 golpes de compactación se muestra un ascenso del Valor Relativo de Soporte, este ascenso ocurre debido a que el material (suelo) usado para los ensayos de CBR para esta cantera fue la pasante la malla N° 3/4" (Método de compactación C) y este presenta un mejor comportamiento conjuntamente con los desechos de PVC, puesto que el desecho al momento de la compactación no permite que las partículas grandes de suelo se desmenucen y/o rompan con facilidad, en consecuencia, al finalizar la compactación se tendrá una muestra final con una gran cantidad de partículas grandes de suelo, esto trae como consecuencia un aumento del Valor Relativo de Soporte. También se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR en este caso aumenta.

Finalmente también se puede resaltar que para los 56 golpes de compactación con la cual se determina la Máxima Densidad Seca del material de cantera, se muestra un aumento del Valor Relativo de Soporte, este ascenso ocurre debido a que el material (suelo) usado para los ensayos de CBR para esta cantera fue la pasante la malla N° 3/4" (Método de compactación C) y este presenta un mejor comportamiento conjuntamente con los desechos de PVC, puesto que el desecho al momento de la compactación no permite que las partículas grandes de suelo se desmenucen y/o rompan con facilidad, en consecuencia, al finalizar la compactación se tendrá una muestra final con una gran cantidad de partículas grandes de suelo, esto trae como consecuencia un aumento del Valor Relativo de Soporte, sin embargo, se puede notar que al 8% de desecho de PVC el CBR disminuye debido a que la densidad también disminuye, pero sigue presentando un aumento del 45% respecto a la muestra patrón.



**IMAGEN 89: Distribución de esfuerzos una vez sometido a penetración-Cantera Jallihuaya**

#### **4.2.3.6. RESULTADOS DE LA CANTERA CURTUR WASI**

**TABLA 92: Valor Relativo de Soporte (CBR) del material de Cantera-Cuntur Wasi sin desechos de PVC y con desechos de PVC al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA CURTUR WASI |                  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |           |
|---------------------|------------------|--|-----------|
| PROPIEDAD           | NUMERO DE GOLPES | 0%   | 6%        |
| CBR (%)             | 12               | <b>10</b>  | <b>14</b> |
|                     | 25               | <b>7</b>   | <b>9</b>  |
|                     | 56               | <b>7</b>   | <b>10</b> |

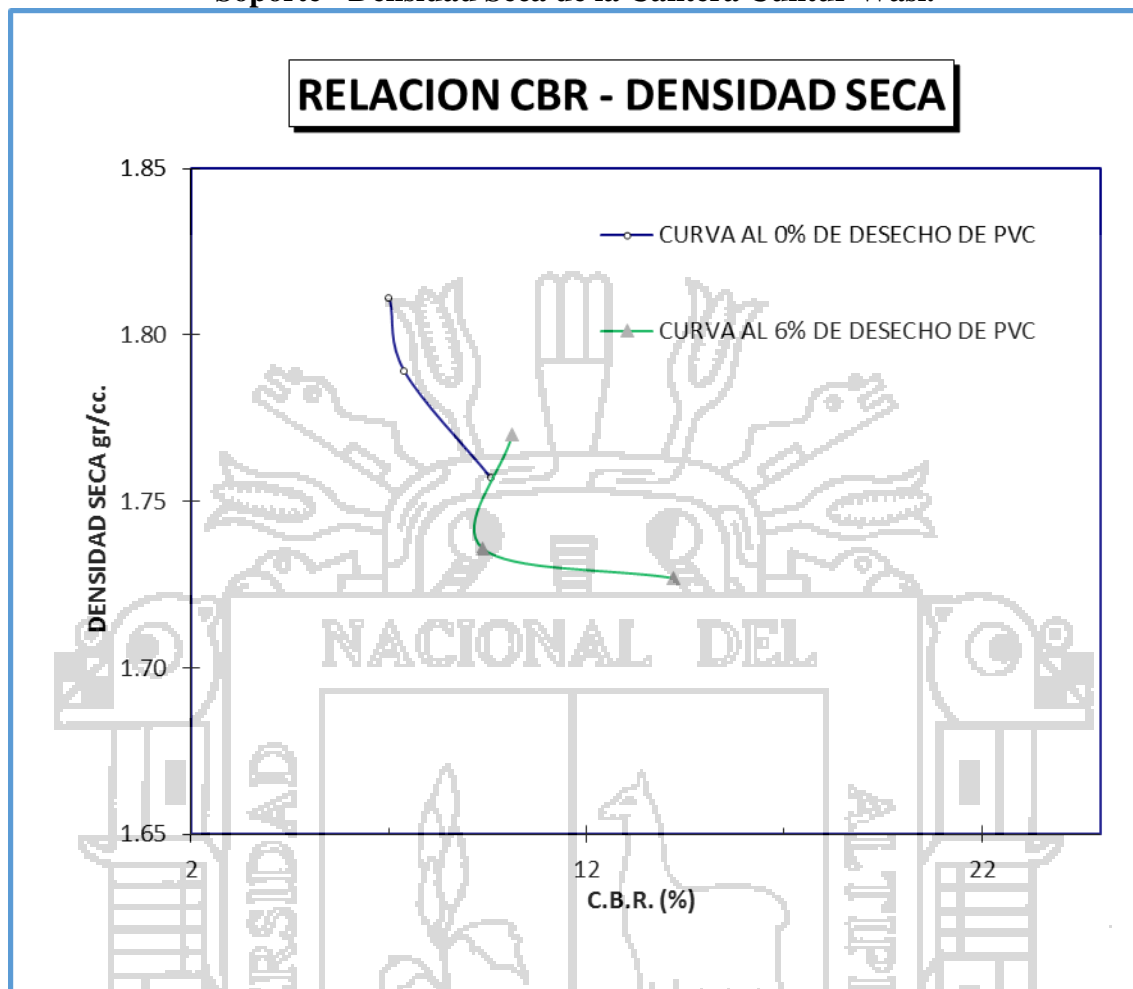
En la tabla 92, se puede ver para los 12 golpes de compactación, hay un aumento del Valor Relativo de Soporte (CBR) de 14% al 6% de la adición de desecho de PVC.

De la misma forma, para los 25 golpes de compactación muestra un aumento del Valor Relativo de Soporte (CBR) de 9% al 6% de la adición de desecho de PVC.

Así mismo en la tabla 92, se puede ver, un aumento del Valor Relativo de Soporte (CBR) de 10% al 6% de la adición de desecho de PVC, para los 56 golpes de compactación.

#### **4.2.3.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS-CANTERA CURTUR WASI**

**FIGURA 53: Resumen de las curvas de compactación del Valor Relativo de Soporte - Densidad Seca de la Cantera Cuntur Wasi.**



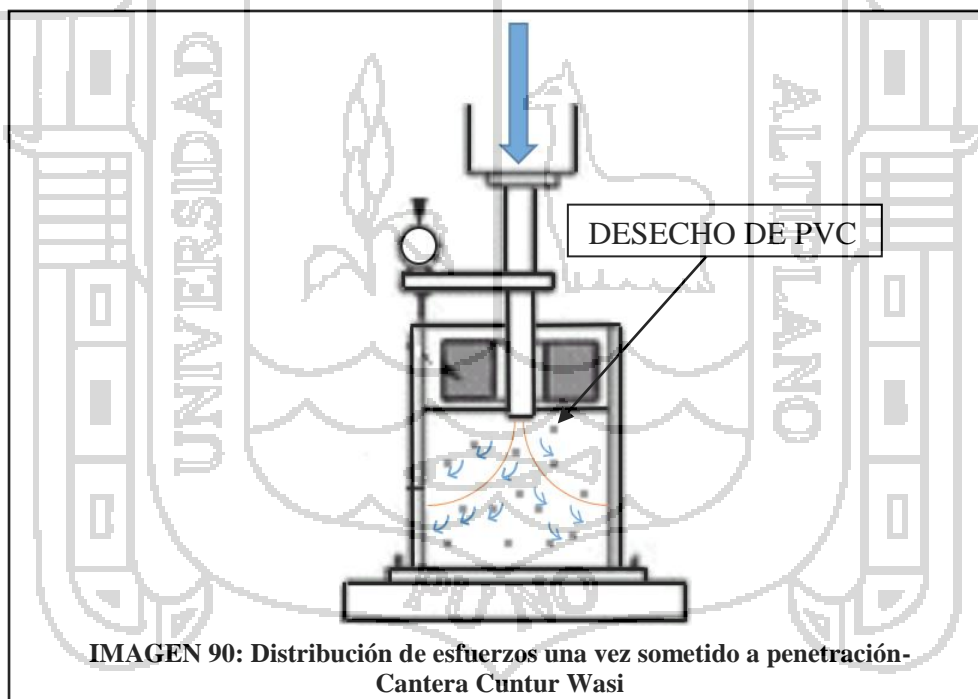
La figura 53, muestra un resumen de las curvas del Valor Relativo de Soporte-Densidad seca, con adición de desecho de Policloruro de Vinilo con diámetros retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4.

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

Para los 12 golpes de compactación se muestra un ascenso del Valor Relativo de Soporte (CBR), sin embargo, este aumento no es considerable, ya que por tratarse de un suelo que tiene un Índice de Plasticidad (IP) medianamente alto (11.28%), y al entrar en contacto con la superficie lisa del desecho de Policloruro de Vinilo (PVC), este se desliza libremente ocasionando que el Valor Relativo de Soporte (CBR) disminuya y no aumente como ha de esperar.

También se puede destacar que para los 25 golpes de compactación se muestra un ascenso del Valor Relativo de Soporte, sin embargo, este aumento no es considerable, ya que por tratarse de un suelo que tiene un IP medianamente alto (11.28%), y al entrar en contacto con la superficie lisa del desecho de Policloruro de Vinilo (PVC), este se desliza libremente ocasionando que el Valor Relativo de Soporte (CBR) disminuya y no aumente como ha de esperar.

Finalmente también se puede resaltar que para los 56 golpes de compactación con la cual se determina la Máxima Densidad Seca del material de cantera, se muestra un aumento del Valor Relativo de Soporte, sin embargo, este aumento no es considerable, ya que por tratarse de un suelo que tiene un Índice de Plasticidad (IP) medianamente alto (11.28%), y al entrar en contacto con la superficie lisa del desecho de Policloruro de Vinilo (PVC), este se desliza libremente ocasionando que el Valor Relativo de Soporte (CBR) disminuya y no aumente como ha de esperar.



Ya que los resultados no fueron los esperados respecto al Valor Relativo de Soporte al momento de adicionar 6% de desecho de Policloruro de Vinilo al material de Cantera-Cuntur Wasi, se suspendió la experimentación con la adición de desechos al 4% y 8%.



### 4.3. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LAS NORMAS

De acuerdo a los datos y resultados mostrados en anteriores ítem, se hará una contrastación con los requerimientos de la EG-2013, para materiales que van a conformar la capa Base y Sub Base de pavimentos:

#### 4.3.1. CONTRASTACIÓN CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA EG-2013 PARA LA CAPA BASE DE UN PAVIMENTO

**TABLA 93: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca.**

| <b>CANTERA SALCEDO</b>                                   |                        | <b>PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4)</b> |               |               |               |
|--|------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>PROPIEDAD</b>   | <b>EG-2013 REQUER.</b> | <b>0%</b>   | <b>4%</b>     | <b>6%</b>     | <b>8%</b>     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Ligero y Medio | min. 80%               | <b>111%</b>   | <b>132%</b>   | <b>127%</b>   | <b>138%</b>   |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Pesado         | min. 100%              | <b>111%</b>   | <b>132%</b>   | <b>127%</b>   | <b>138%</b>   |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm                    | 40% máx.               | <b>40.29%</b>   | <b>33.86%</b> | <b>30.29%</b> | <b>26.16%</b> |

| <b>CANTERA JALLIHUAYA</b>                                |                        | <b>PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4)</b> |               |               |               |
|--|------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>PROPIEDAD</b>   | <b>EG-2013 REQUER.</b> | <b>0%</b>   | <b>4%</b>     | <b>6%</b>     | <b>8%</b>     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Ligero y Medio | min. 80%               | <b>49%</b>  | <b>85%</b>    | <b>98%</b>    | <b>94%</b>    |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Pesado         | min. 100%              | <b>49%</b>  | <b>85%</b>    | <b>98%</b>    | <b>94%</b>    |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm                    | 40% máx.               | <b>42.79%</b>   | <b>29.61%</b> | <b>27.35%</b> | <b>26.16%</b> |

**TABLA 94: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| <b>CANTERA SALCEDO</b>                                   |                        | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |           |           |           |
|--|------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| <b>PROPIEDAD</b>   | <b>EG-2013 REQUER.</b> | <b>0%</b>  | <b>4%</b> | <b>6%</b> | <b>8%</b> |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Ligero y Medio | min. 80%               | 34%  | 54%       | 55%       | 95%       |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Pesado         | min. 100%              | 34%  | 54%       | 55%       | 95%       |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm                    | 40% máx.               | 40.29%   | 33.86%    | 30.29%    | 26.16%    |
| <b>CANTERA JALLIHUAYA</b>                                |                        | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |           |           |           |
| <b>PROPIEDAD</b>   | <b>EG-2013 REQUER.</b> | <b>0%</b>  | <b>4%</b> | <b>6%</b> | <b>8%</b> |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Ligero y Medio | min. 80%               | 58%  | 91%       | 98%       | 110%      |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Pesado         | min. 100%              | 58%  | 91%       | 98%       | 110%      |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm                    | 40% máx.               | 42.79%   | 29.61%    | 27.35%    | 26.16%    |

**TABLA 95: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| <b>CANTERA SALCEDO</b>                                   |                        | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |           |           |
|--|------------------------|---|-----------|-----------|
| <b>PROPIEDAD</b>   | <b>EG-2013 REQUER.</b> | <b>0%</b>   | <b>4%</b> | <b>6%</b> |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Ligero y Medio | min. 80%               | 34%   | 82%       | 77%       |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%)Tráfico Pesado         | min. 100%              | 34%   | 82%       | 77%       |

**TABLA 96: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO   |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |     |     |
|---|-----------------|---|-----|-----|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%  | 4%  | 6%  |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) Tráfico Ligero y Medio | min. 80%        | 111%  | 93% | 82% |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) Tráfico Pesado         | min. 100%       | 111%  | 93% | 82% |

#### 4.3.2. CONTRASTACIÓN CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA EG-2013 PARA LA CAPA SUB BASE DE UN PAVIMENTO

**TABLA 97: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO                                     |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |        |        |        |
|---|-----------------|--|--------|--------|--------|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%   | 4%     | 6%     | 8%     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq 3000$ msnm | min. 40%        | 111%   | 132%   | 127%   | 138%   |
| Abrasión Los Ángeles $\geq 3000$ msnm               | 50% máx.        | 40.29%   | 33.86% | 30.29% | 26.16% |

| CANTERA JALLIHUAYA                                  |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |        |        |        |
|---|-----------------|--|--------|--------|--------|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%   | 4%     | 6%     | 8%     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq 3000$ msnm | min. 40%        | 49%  | 85%    | 98%    | 94%    |
| Abrasión Los Ángeles $\geq 3000$ msnm               | 50% máx.        | 42.79%   | 29.61% | 27.35% | 26.16% |

**TABLA 98: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO                                     |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |        |        |        |
|---|-----------------|--|--------|--------|--------|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%   | 4%     | 6%     | 8%     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq$ 3000 msnm | min. 40%        | 34%  | 54%    | 55%    | 95%    |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm               | 50% máx.        | 40.29%   | 33.86% | 30.29% | 26.16% |
| CANTERA JALLIHUAYA                                  |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |        |        |        |
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%   | 4%     | 6%     | 8%     |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq$ 3000 msnm | min. 40%        | 58%  | 91%    | 98%    | 110%   |
| Abrasión Los Ángeles $\geq$ 3000 msnm               | 50% máx.        | 42.79%   | 29.61% | 27.35% | 26.16% |

**TABLA 99: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO                                     |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |     |     |
|---|-----------------|---|-----|-----|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%  | 4%  | 6%  |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq$ 3000 msnm | min. 40%        | 34%   | 82% | 77% |

**TABLA 100: Contrastación de los requerimientos de la EG-2013 para el CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la Máxima Densidad Seca**

| CANTERA SALCEDO                                     |                 | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 3/8" PASANTE LA MALLA N° 3/4") |     |     |
|---|-----------------|---|-----|-----|
| PROPIEDAD   | EG-2013 REQUER. | 0%  | 4%  | 6%  |
| Valor Relativo de Soporte, CBR (%) $\geq$ 3000 msnm | min. 40%        | 111%  | 93% | 82% |

De acuerdo a las tablas mostradas en el anterior ítem, adelantándonos a las conclusiones se puede ver que para la Cantera Salcedo y sus Propiedades de Abrasión y el Valor Relativo de Soporte (CBR) para la conformación de la Capa Base y Sub Base

de pavimentos, aumenta de manera significativa y es más favorable con la adición de desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) al 8%. Como conclusión quedaría que el porcentaje óptimo para esta cantera (Salcedo) es el 8% de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC).

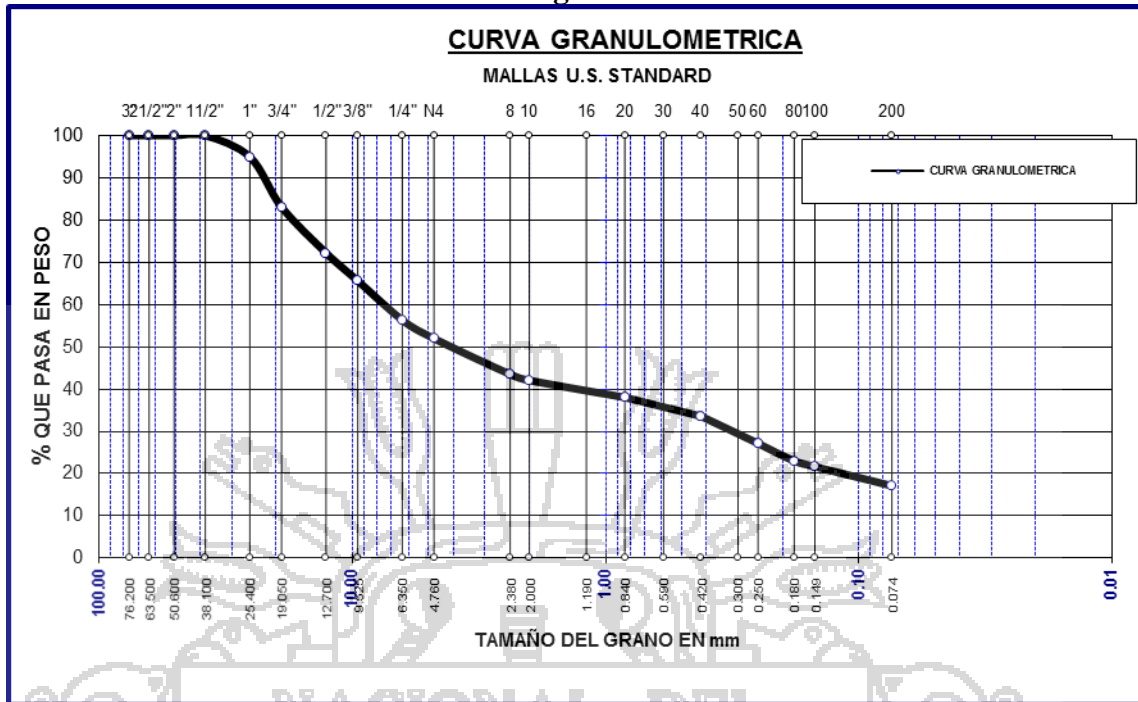
También de acuerdo a las tablas mostradas en el anterior ítem, adelantándonos a las conclusiones se puede ver que para la Cantera Jallihuaya y sus Propiedades de Abrasión y el Valor Relativo de Soporte (CBR) para la conformación de la Capa Base y Sub Base de pavimentos, aumenta de manera significativa y es más favorable con la adición de desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) al 6%. Como conclusión quedaría que el porcentaje óptimo para esta cantera (Jallihuaya) es el 6% de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC).

Sin embargo, se puede concluir que el porcentaje óptimo de desecho de Policloruro de Vinilo para ambas canteras (Salcedo y Jallihuaya) es el 6%, puesto que en este porcentaje las propiedades se comportan de acuerdo a lo requerido por la EG-2013.

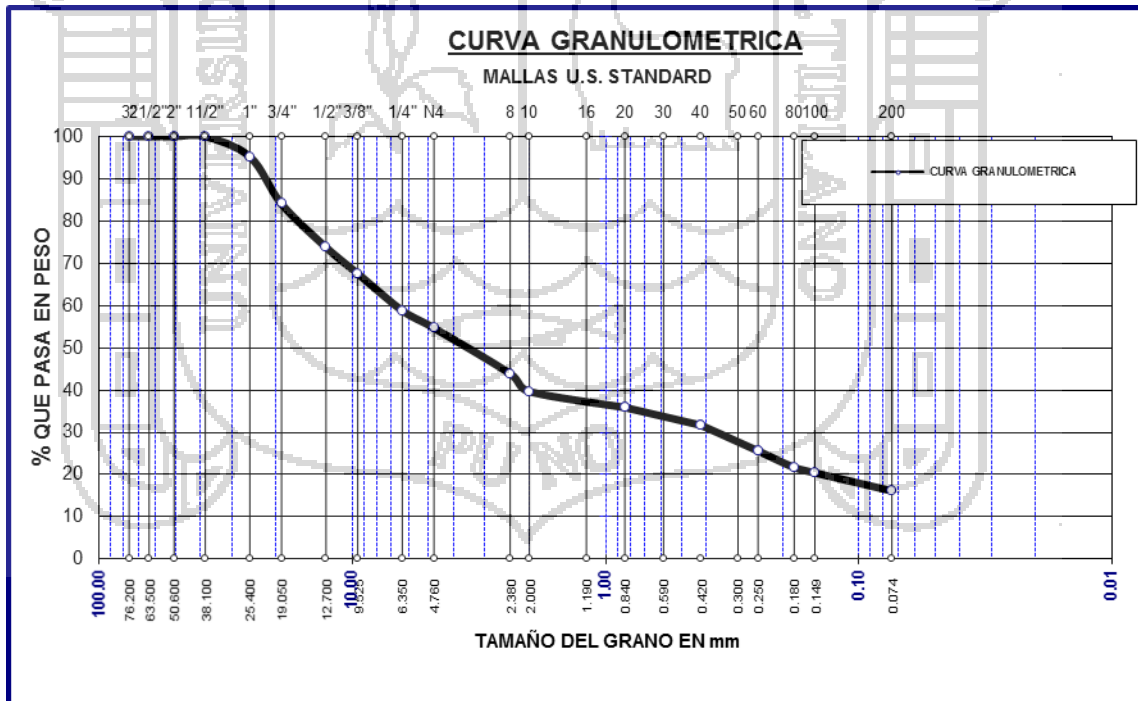
#### **4.3.3. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE CANTERA RELACIONADO CON LA GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE CANTERA MÁS LA ADICIÓN DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO.**

Realizando una comparación entre la granulometría original de la cantera y la granulometría de la cantera adicionándole 6% de desecho de PVC (del porque de esta adición se puede detallar más, en las conclusiones de la presente investigación). La variación en cuanto a la curva granulométrica original no es considerable. Esto se puede ver en las siguientes figuras.

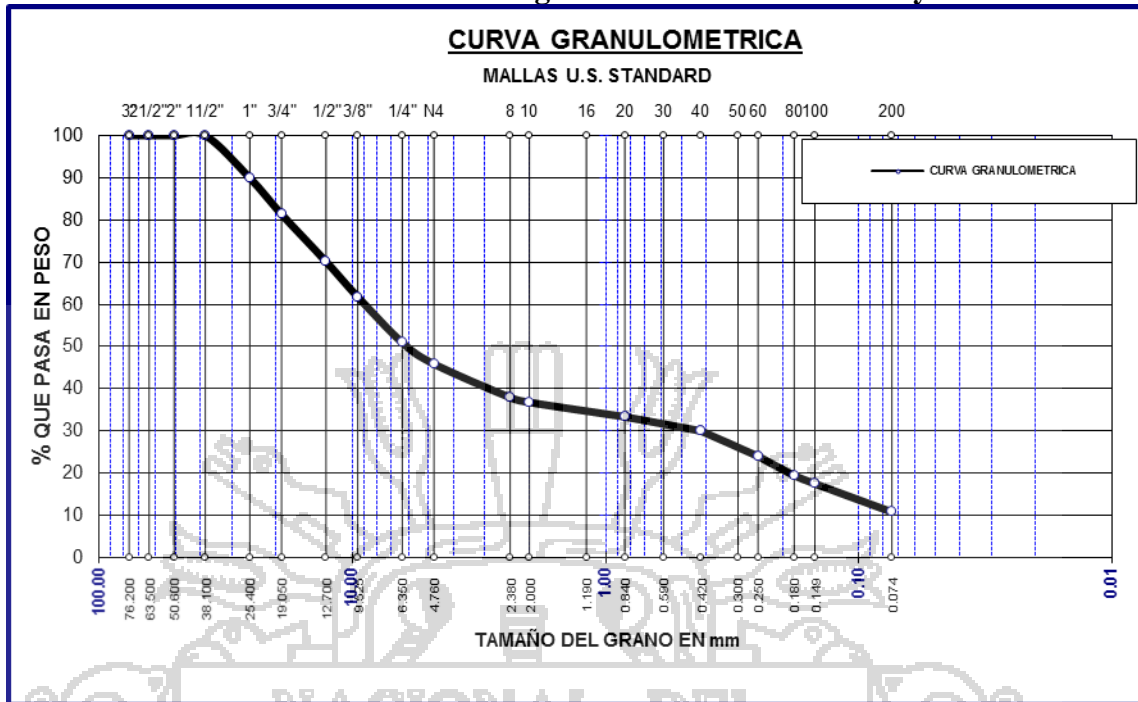
**FIGURA 54: Granulometría original de la Cantera Salcedo.**



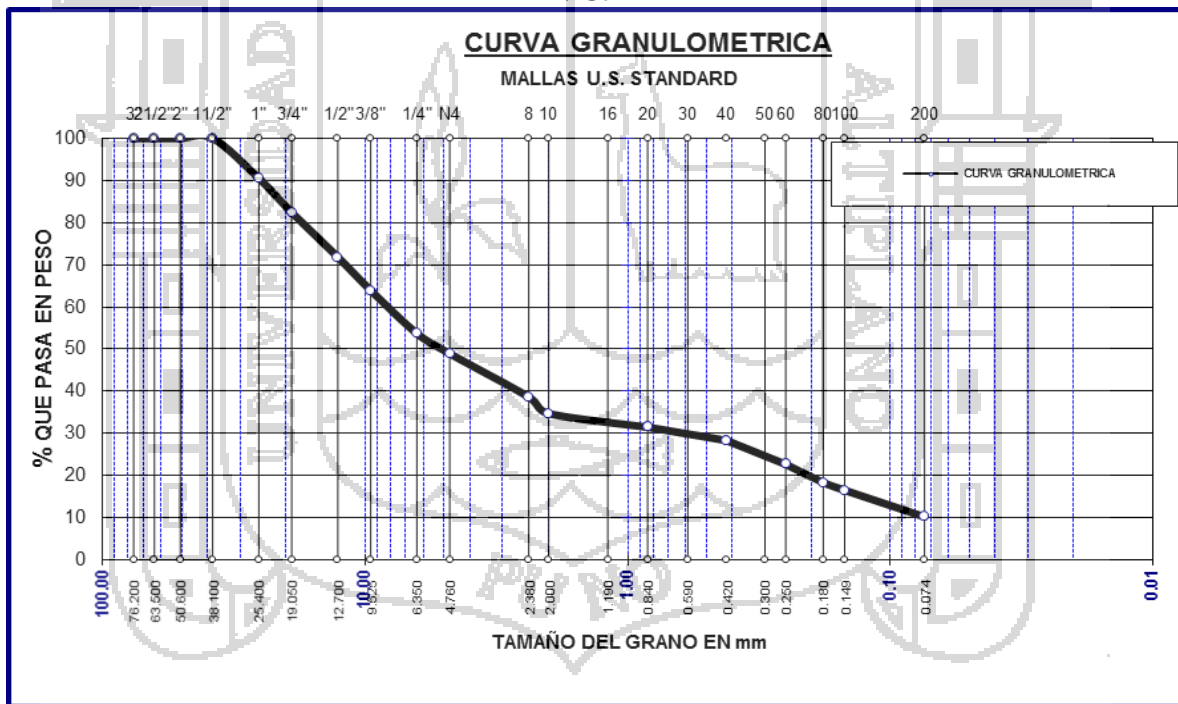
**FIGURA 55: Granulometría Cantera Salcedo Adicionándole 6% de desecho de PVC.**



**FIGURA 56: Granulometría original de la Cantera Jallihuaya.**



**FIGURA 57: Granulometría Cantera Jallihuaya Adicionándole 6% de desecho de PVC.**



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

#### 4.4.1. CORRELACIÓN:

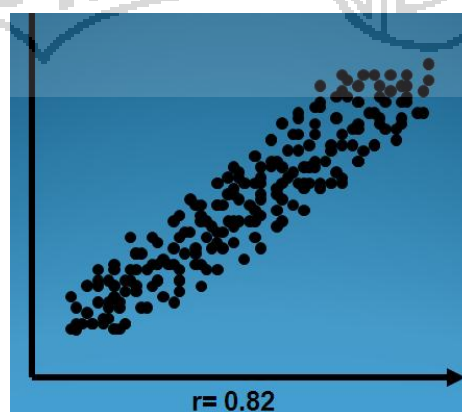
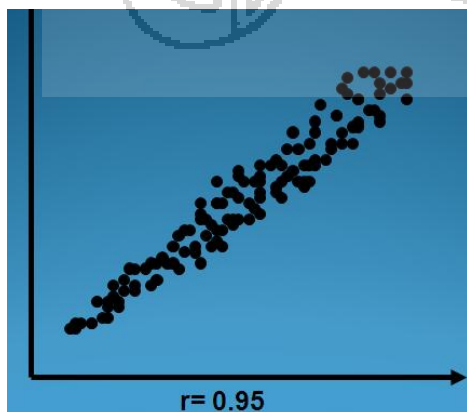
Una correlación es una medida del grado en que dos variables se encuentran relacionadas. Las relaciones lineales pueden ser expresadas por estadísticos conocidos como coeficientes de correlación (estudios correlacionales).

Cuando dos variables cambian de forma simultánea, pero ninguna se puede considerar como variable dependiente. En estos experimentos se abandona cualquier premisa sobre causalidad y tan sólo se busca describir la fuerza de la relación entre las dos variables. El coeficiente de correlación, que es un número entre -1 a +1, se utiliza a menudo para medir la fuerza de esa relación.

Entre más estrecha sea la relación entre las dos variables, más cercana es también la magnitud de  $r$  a uno (1); entre más débil es la relación entre ambas variables, más cerca se encuentra  $r$  de cero (0). Se llama coeficiente de *correlación o coeficiente de correlación de producto-momento de Pearson* a la **fuerza (magnitud)** de la relación entre dos variables que tienen una distribución normal. Cuando  $r = +1$  las variables aumentan de forma simultánea, indica una relación lineal positiva perfecta; y cuando  $r = -1$  es cuando una disminuye conforme la otra se incrementa, indica una relación lineal negativa perfecta. Un  $r = 0$  es cuando no existe una relación entre las dos variables.

El signo indica el sentido de la dirección. La magnitud está dada por el valor del coeficiente:

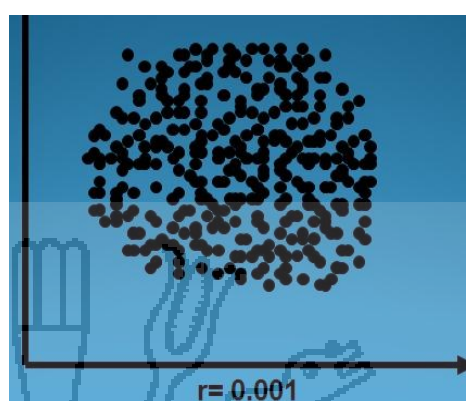
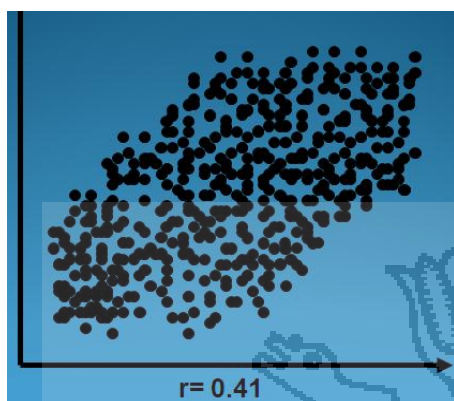
Las siguientes imágenes muestran como varía el Índice “ $r$ ” de Pearson y según la tabla 101, cada imagen tiene su significado y se describe a continuación:





Correlación Positiva muy alta

Correlación positiva alta



Correlación positiva moderada

Correlación positiva muy baja

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto cuando analicemos las relaciones entre dos variables, debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio, ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.
- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Coeficiente de Correlación de Pearson - Universidad del Magdalena - Alexander Salazar Ceballos, 2013.



**TABLA 101: Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.**

| VALOR         | SIGNIFICADO                            |
|---------------|--|
| -1            | Correlación negativa grande y perfecta |
| -0,9 a -0,99  | Correlación negativa muy alta          |
| -0,7 a -0,89  | Correlación negativa alta              |
| -0,4 a -0,69  | Correlación negativa moderada          |
| -0,2 a -0,39  | Correlación negativa baja              |
| -0,01 a -0,19 | Correlación negativa muy baja          |
| 0             | Correlación nula                       |
| 0,01 a 0,19   | Correlación positiva muy baja          |
| 0,2 a 0,39    | Correlación positiva baja              |
| 0,4 a 0,69    | Correlación positiva moderada          |
| 0,7 a 0,89    | Correlación positiva alta              |
| 0,9 a 0,99    | Correlación positiva muy alta          |
| 1             | Correlación positiva grande y perfecta |

Fuente: Correlación y Regresión empleando Excel y GRAPH- Mgs. Mario Suárez, 2012.

**COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON**

El coeficiente de correlación está definido por.

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

**TABLA 102: Tabla de Correlación.**

| TABLA DE CORRELACIÓN   |                  |                  |    |                  |                  |
|--|------------------|------------------|----|------------------|------------------|
| Por su importancia, ¿cuál es el coeficiente de correlación mínimo? |                  |                  |    |                  |                  |
| n  | 95% de Confianza | 99% de Confianza | n  | 95% de Confianza | 99% de Confianza |
| 3  | 1.00             | 1.00             | 15 | 0.51             | 0.64             |
| 4  | 0.95             | 0.99             | 16 | 0.50             | 0.61             |
| 5  | 0.88             | 0.96             | 17 | 0.48             | 0.61             |
| 6  | 0.81             | 0.92             | 18 | 0.47             | 0.59             |
| 7  | 0.75             | 0.87             | 19 | 0.46             | 0.58             |
| 8  | 0.71             | 0.83             | 20 | 0.44             | 0.56             |
| 9  | 0.67             | 0.80             | 22 | 0.42             | 0.54             |
| 10   | 0.63             | 0.76             | 24 | 0.40             | 0.52             |
| 11   | 0.60             | 0.73             | 26 | 0.39             | 0.50             |
| 12   | 0.58             | 0.71             | 28 | 0.37             | 0.48             |
| 13   | 0.53             | 0.68             | 30 | 0.36             | 0.46             |
| 14   | 0.53             | 0.66             |    |                  |                  |

**Para un 95% de confianza, con una muestra de 15, el coeficiente (r) debe ser al menos 0.51**

Fuente: Análisis Y Diseño De Experimentos-Vladimiro Ibáñez Quispe.

#### 4.4.1.1. SIGNIFICANCIA DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

##### a) NIVEL DE SIGNIFICANCIA:

Es la máxima cantidad de error que estamos dispuestos aceptar para dar como válida la hipótesis del investigador. Por convención, los científicos suelen establecer el valor de significación para sus experimentos a 0,05 o 5%. Esto significa que los resultados experimentales que alcanzan este nivel de significación tienen como máximo un 5% de probabilidad de ser un resultado por casualidad. En otras palabras, existe un 95% de probabilidad de que los resultados se deben a la manipulación de los científicos, de las variables experimentales, y no por casualidad. Para la mayoría de los experimentos, estar en un 95% seguro acerca de una correlación entre dos variables se considera como "exitoso" al mostrar una correlación entre los dos.

##### b) SELECCIÓN DE UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA:

No existe un nivel de significancia único estándar o universal para probar hipótesis. En algunos casos, se utiliza un nivel de significancia del 5%. Ciertos resultados de investigaciones publicados a menudo prueban hipótesis para un nivel de significancia del 1%. Es posible probar una hipótesis a *cualquier* nivel de significancia. Pero recordemos que nuestra elección del estándar mínimo para una probabilidad aceptable, o el nivel de significancia, es también el riesgo que corremos al rechazar una hipótesis nula cuando es cierta. Cuanto más alto sea el nivel de significancia que utilizamos para probar una hipótesis, mayor será la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta. (Rubin & Balderas del Valle, 2004, pag. 326)

El valor de la significancia es seleccionado antes de comenzar a hacer el experimento en una de varias formas. El valor del nivel de significancia puede estar dictado por el uso y costumbre de la disciplina, por ejemplo, de los artículos que se publican en revistas científicas. Otra forma de seleccionarlo es que sencillamente sea impuesto por la persona o compañía para la cual se trabaja y que son quienes pagan el salario de los investigadores. Finalmente, puede ser seleccionado tomando en cuenta el costo de cometer un error tipo I. Mientras más alto el costo, más pequeña debe ser la probabilidad de cometer error tipo I. El valor usual del valor de significancia en las ciencias naturales y sociales es de 0.05. También el nivel 0.05 se usa para proyectos de investigación de consumo. (Rodríguez Esquerdo, 2009)

### 4.4.1.2. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que las variables X e Y están relacionadas en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. En otras palabras, nos preguntamos por la significación de dicho coeficiente de correlación.

Un coeficiente de correlación, se dice que es significativo si se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero.

**TABLA 103: Identificación de Hipótesis.**

| IDENTIFICACIÓN DE HIPÓTESIS                  |  |
|--|--|
| Hipótesis nula $H_0$                         | Hipótesis alternativa $H_1$                            |
| La que contrastamos                          | Niega $H_0$ (y creemos que es “mejor”)                 |
| Los datos pueden refutarla                   | Los datos pueden mostrar evidencia a favor             |
| No debería ser rechazada sin una buena razón | No debería ser aceptada sin una gran evidencia a favor |
| $H_0 : p =, <=, >=$                          | $H_1 : p, <, >$  |

Fuente: Análisis Y Diseño De Experimentos-Vladimiro Ibáñez Quispe.

La regla de decisión es: si el estadístico “p” es menor o igual a 0.05, se rechaza la hipótesis nula.

### 4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CORRELACIÓN

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  $H_a$ :

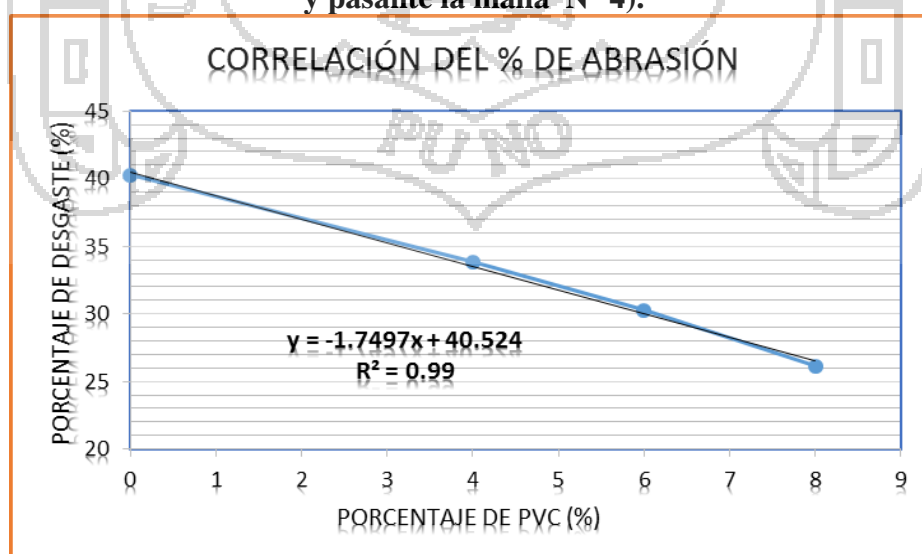
5. Conclusión. Realizar la interpretación en base al paso 4 y concluir de acuerdo al tenor del problema.

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 los desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) solo para las canteras: Salcedo y Jallihuaya, mas no para la cantera Cuntur Wasi, en ese entender, se harán las respectivas correlaciones para la cantera Salcedo y Jallihuaya.

#### 4.4.3. CORRELACIONES PARA LA CANTERA SALCEDO

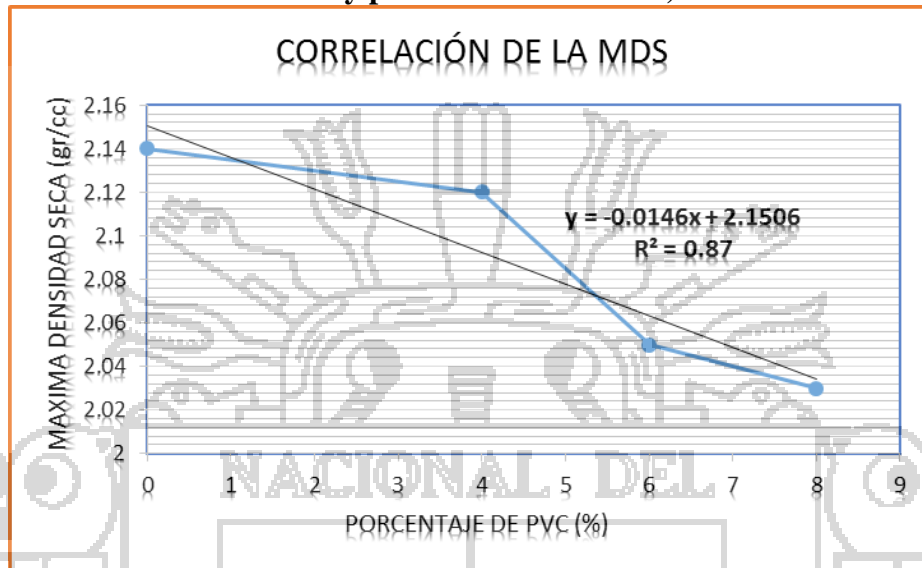
a) **Correlación para el ensayo de Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles.**

**FIGURA 58: Correlación del % de Abrasión para la mezcla del material natural (Cantera Salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**

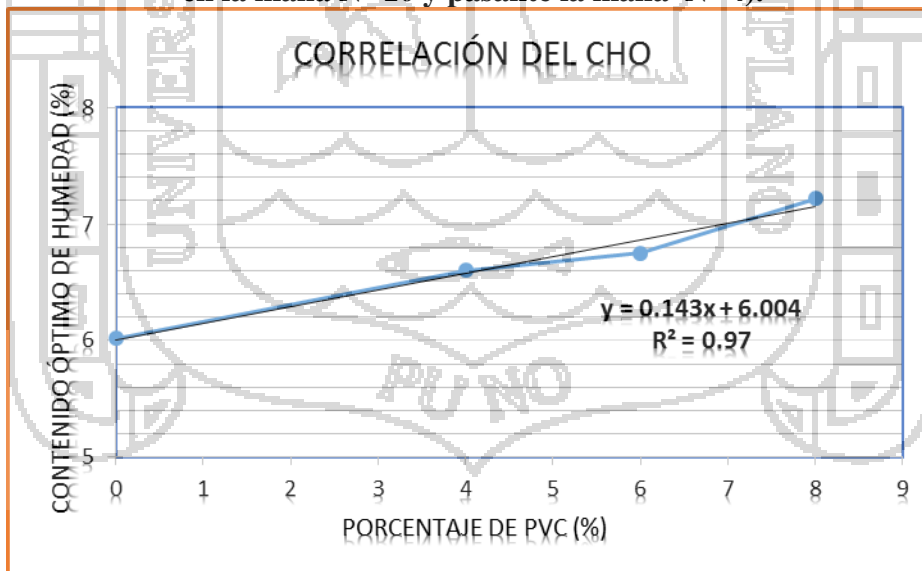


b) Correlación para la Máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo

**FIGURA 59:** Correlación de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).

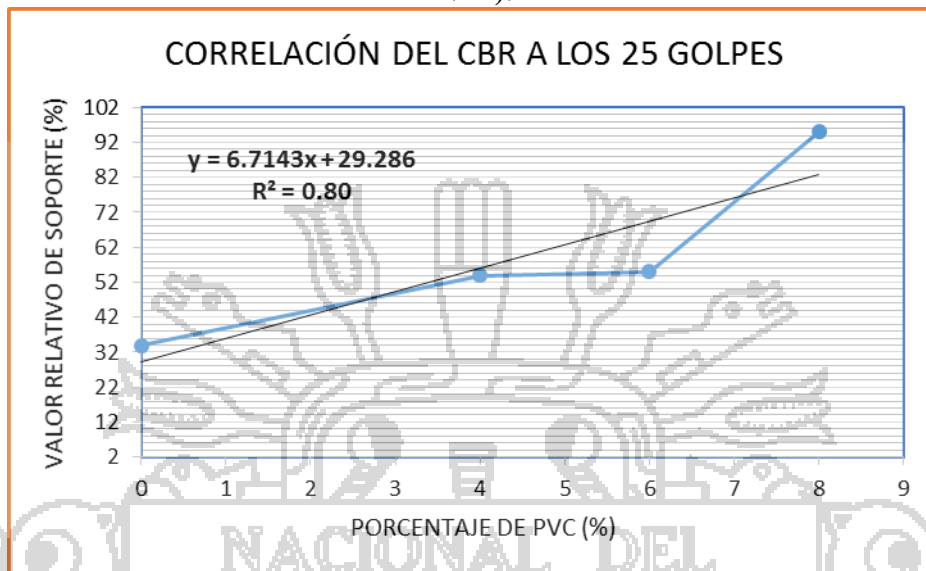


**FIGURA 60:** Correlación del contenido de humedad óptimo para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).

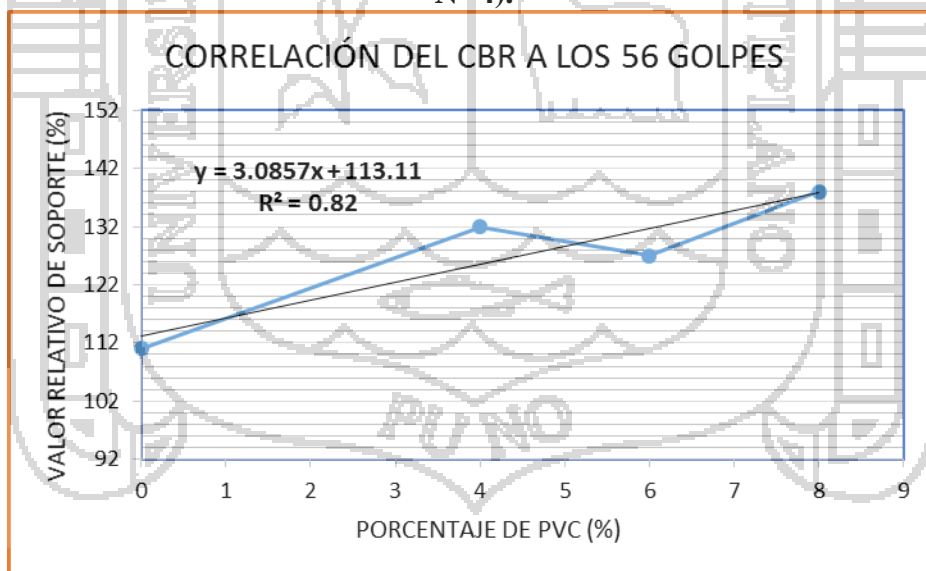


c) Correlación para el ensayo de Valor Relativo de Soporte

**FIGURA 61: Correlación del CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



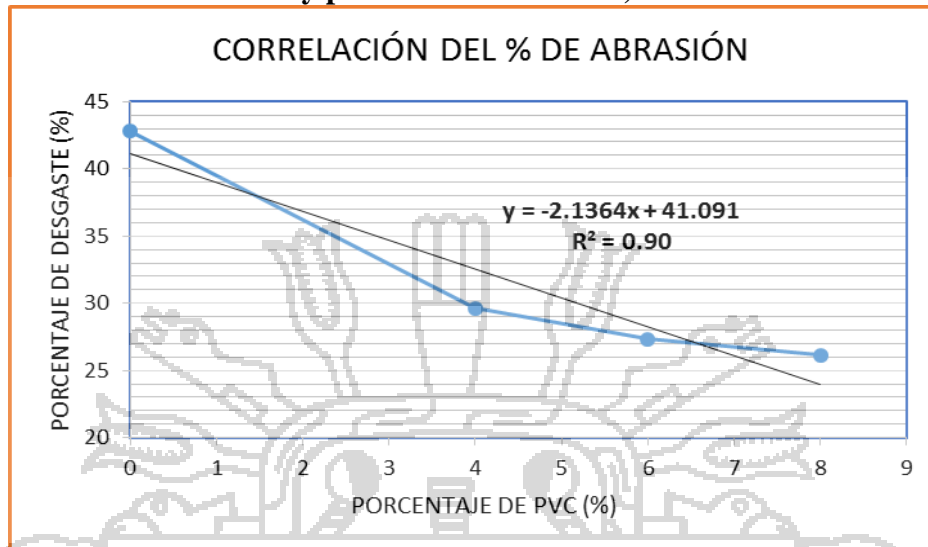
**FIGURA 62: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (cantera salcedo) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



#### 4.4.4. CORRELACIONES PARA LA CANTERA JALLIHUAYA

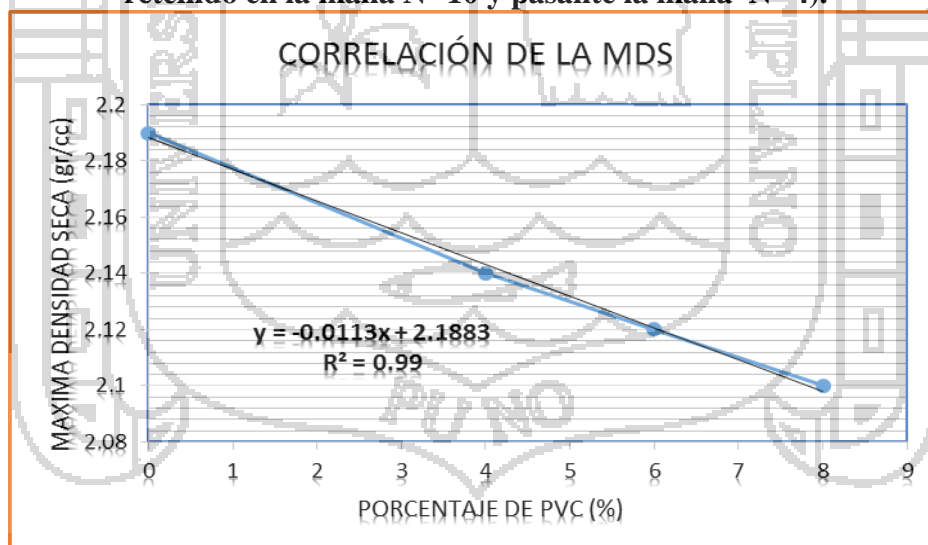
- a) Correlación para el ensayo de Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles.

**FIGURA 63: Correlación del % de Abrasión para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



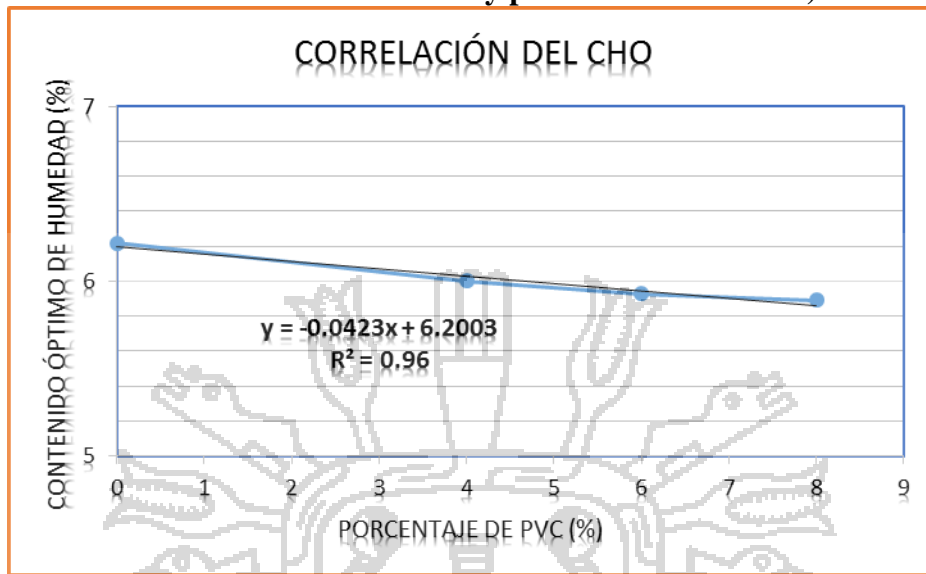
**b) Correlación para la Máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo**

**FIGURA 64: Correlación de la Máxima Densidad Seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



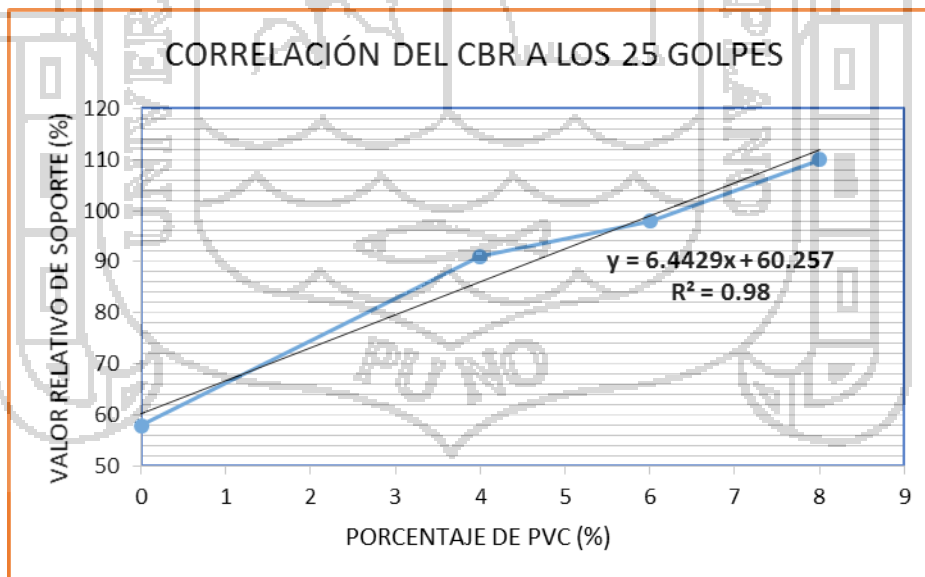


**FIGURA 65: Correlación del Contenido de Humedad Óptimo para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**

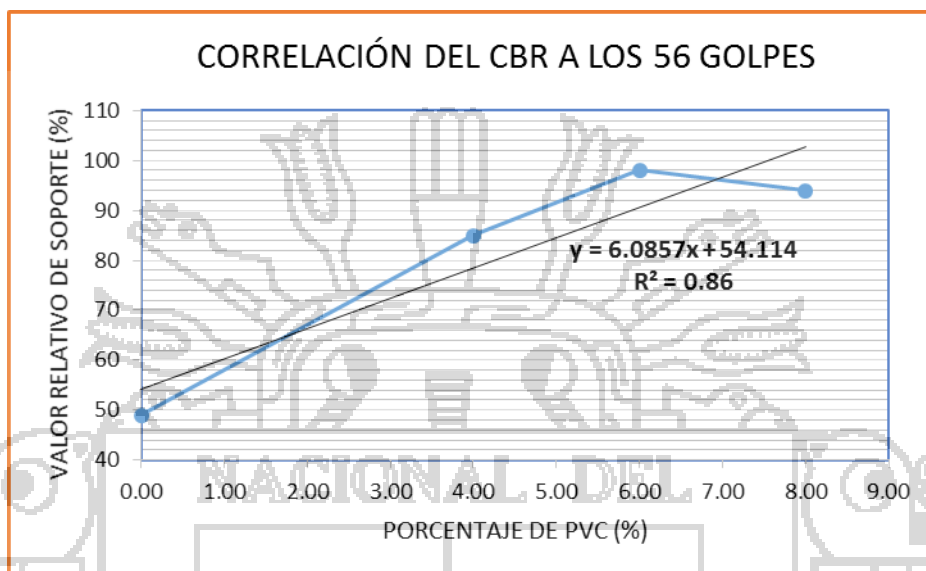


**c) Correlación para el ensayo de Valor Relativo de Soporte**

**FIGURA 66: Correlación del CBR a los 25 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



**FIGURA 67: Correlación del CBR a los 56 golpes de compactación al 100% de la máxima densidad seca, para la mezcla del material natural (Cantera Jallihuaya) y material con adición de PVC (PVC retenido en la malla N° 10 y pasante la malla N° 4).**



#### 4.4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CANTERA SALCEDO

##### 4.4.5.1. VARIABLE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = -0.9983$$

Se ha encontrado una correlación negativa muy alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre la Abrasión sin desechos de PVC y la Abrasión con desechos de PVC.

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

$$r^2 = 0.9966$$

$$gl = 4$$

$$t = -24.04$$

$$p = 0.000018$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 99.66% de la variación de la Abrasión con desechos de PVC. Esta explicado por la Abrasión sin desechos de PVC y 0.34% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

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  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.000018 < 0.05$$

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  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.



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

**TABLA 104: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo Abrasión los Ángeles-Cantera Salcedo.**

| CANTERA SALCEDO                           | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |        |        |        |
|---|--|--------|--------|--------|
|   | 0%   | 4%     | 6%     | 8%     |
| Abrasión Los Ángeles                      | 40.29%   | 33.86% | 30.29% | 26.16% |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón | 0  | 6.43%  | 10%    | 14.13% |

#### 4.4.5.2. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

##### 4.4.5.2.1. VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 25 GOLPES DE COMPACTACIÓN

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.8970$$

Se ha encontrado una correlación positiva alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación sin desechos de PVC y el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación con desechos de PVC.

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

$r^2 = 0.8046$

gl = 4

t = 2.8699

p = 0.045

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 80.46% de la

variación del valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación con desechos de PVC. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación sin desechos de PVC y 19.54% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

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 alternativa  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.045 < 0.05$$

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 alternativa  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

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

**TABLA 105: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 25 golpes de compactación-Cantera Salcedo.**

| CANTERA SALCEDO   | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |     |     |     |
|---|--|-----|-----|-----|
|   | 0%   | 4%  | 6%  | 8%  |
| PROPIEDAD   |  |     |     |     |
| Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 25 golpes de compactación | 34%  | 54% | 55% | 95% |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón                       | 0  | 20% | 21% | 61% |

**4.4.5.2.2. VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN**

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.9105$$

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

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

- $r^2$  = 0.8290
- gl = 4
- t = 3.1138
- p = 0.035

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 82.90% de la variación del valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con desechos de PVC. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 56 golpes de

compactación sin desechos de PVC y 17.10% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.

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 alternativa  $H_a$ .

$$\begin{array}{rcl} p & < & \alpha \\ 0.035 & < & 0.05 \end{array}$$

- 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 alternativa  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.
- e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:



**TABLA 106: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Salcedo.**

| CANTERA SALCEDO  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |      |      |      |
|--|--|------|------|------|
|  | 0%   | 4%   | 6%   | 8%   |
| Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 56 goles de compactación | 111%   | 132% | 127% | 138% |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón                      | 0  | 21%  | 16%  | 27%  |

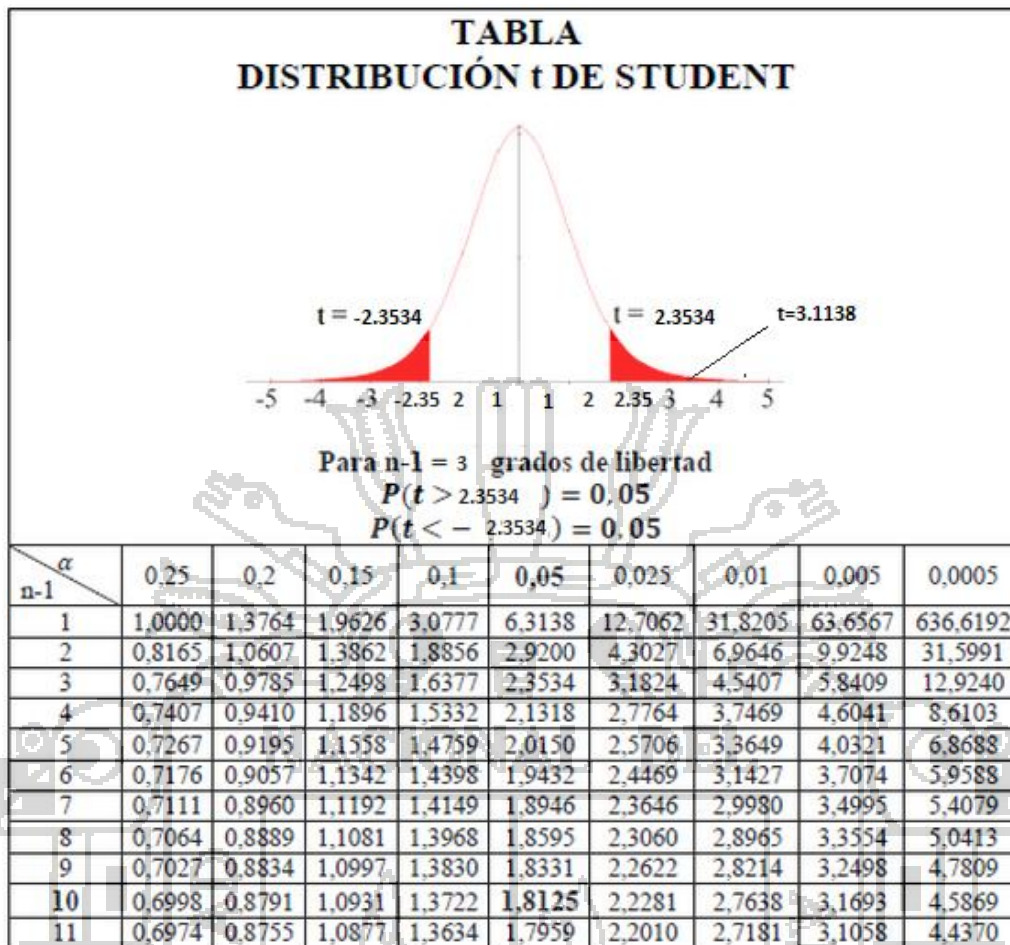
f) Cálculo de cada uno de los valores Experimentales:  $r, r^2, gl, t, p$ :

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

| X  | Y                     | X <sup>2</sup>   | Y <sup>2</sup>     | XY               |
|--|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| 0  | 111                   | 0                | 12321              | 0                |
| 4  | 132                   | 16               | 17424              | 528              |
| 6  | 127                   | 36               | 16129              | 762              |
| 8  | 138                   | 64               | 19044              | 1104             |
| $\sum X = 18$  | $\sum Y = 508$        | $\sum X^2 = 116$ | $\sum Y^2 = 64918$ | $\sum XY = 2394$ |
| $(\sum X)^2 = 324$   | $(\sum Y)^2 = 258064$ |                  | n=4                |                  |
| $r = \frac{(18)(508) - (4)(2394)}{(\sqrt{324 - (4)(116)})(\sqrt{258064 - (4)(64918)})} = 0.9105$ |                       |                  |                    |                  |
| $r^2 = (0.9105)(0.9105) = 0.8290$  |                       |                  |                    |                  |
| $gl = 4$   |                       |                  |                    |                  |
| $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} = \frac{-0.9105\sqrt{4-2}}{1-0.8290} = 3.1138$                    |                       |                  |                    |                  |

Para hallar el Valor de P, es necesario saber los Valores de t, gl y el número de colas (2 colas para  $\alpha=0.05$ ). La siguiente figura explica de mejor manera, de cómo se determina dicho valor:





Para calcular el área Bajo la curva y así poder calcular “p”, usamos una hoja de cálculo en Excel: el resultado es el siguiente:

| gl | t      | p        |
|----|--------|----------|
| 4  | 3.1138 | 0.035741 |

Nota.- Este Procedimiento es el mismo para cada correlación:

#### 4.4.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA CANTERA JALLIHUAYA

##### 4.4.6.1. VARIABLE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = -0.9506$$

Se ha encontrado una correlación negativa muy alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre la Abrasión sin desechos de PVC y la Abrasión con desechos de PVC.

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

$$r^2 = 0.9037$$

$$gl = 4$$

$$t = 4.3325$$

$$p = 0.0123$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 90.37% de la variación de la Abrasión con desechos de PVC. Esta explicado por la Abrasión sin desechos de PVC y 9.63% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

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  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.0123 < 0.05$$

- 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  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Abrasión Por Medio de la Máquina de los Ángeles**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.
- e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

**TABLA 107: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo Abrasión los Ángeles-Cantera Jallihuaya.**

| CANTERA JALLIHUAYA                        | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |               |               |               |
|---|--|---------------|---------------|---------------|
|   | 0%   | 4%            | 6%            | 8%            |
| <b>PROPIEDAD</b>                          |  |               |               |               |
| Abrasión Los Ángeles                      | <b>42.79%</b>  | <b>29.61%</b> | <b>27.35%</b> | <b>26.16%</b> |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón | <b>0</b>   | <b>13.18%</b> | <b>15.44%</b> | <b>16.63%</b> |

#### 4.4.6.2. VARIABLE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

##### 4.4.6.2.1. VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 25 GOLPES DE COMPACTACIÓN

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.9885$$

Se ha encontrado una correlación positiva muy alta, es decir que existe una directa asociación entre variables sobre el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación sin desechos de PVC y el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación con desechos de PVC.

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

$$r^2 = 0.9772$$

$$\text{gl} = 4$$

$$t = 9.2598$$

$$p = 0.000756$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 97.72% de la variación del valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación con desechos de PVC. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación sin desechos de PVC y 2.28% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos no mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, no tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.

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 alternativa  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.00075 < 0.05$$

- 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 alternativa  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo como estabilizador de suelos mejora las propiedades mecánicas (**Valor relativo de soporte a los 25 golpes de compactación**) del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos.
- e) De manera cualitativa la prueba estadística  $H_a$  aceptada, se puede corroborar mostrando los siguientes resultados:

**TABLA 108: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 25 golpes de compactación-Cantera Jallihuaya.**

| CANTERA JALLIHUAYA  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |     |     |      |
|---|--|-----|-----|------|
|   | 0%   | 4%  | 6%  | 8%   |
| PROPIEDAD   |  |     |     |      |
| Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 25 golpes de compactación | 58%  | 91% | 98% | 110% |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón                       | 0  | 33% | 40% | 52%  |

**4.4.6.2.2. VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN**

El coeficiente de correlación queda definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \right]}} = 0.9305$$

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

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

$$r^2 = 0.8659$$

$$gl = 4$$

$$t = 3.5936$$

$$p = 0.0228$$

Se puede interpretar que el modelo tiene aceptable ajuste. El 86.59% de la variación del valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación con desechos de PVC. Esta explicado por el valor relativo de soporte a los 56 golpes de compactación sin desechos de PVC y 13.41% esta explicado por otros factores ajenos al modelo.

Probar la hipótesis para  $\rho \neq 0$

a) Hipótesis Estadística:

$$H_0: \rho = \rho_0$$

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

$H_0$ = El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.

$H_a$ = El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.

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  $H_a$ .

$$p < \alpha$$

$$0.0228 < 0.05$$

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  $H_a$ : El desecho de policloruro de vinilo 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 la capa base y sub base de pavimentos.

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

**TABLA 109: Corroboración cualitativa de la prueba estadística planteada aceptada del ensayo CBR a los 56 golpes de compactación-Cantera Jallihuaya.**

| CANTERA JALLIHUAYA  | PORCENTAJE DE PVC (RETENIDO EN LA MALLA N° 10 PASANTE LA MALLA N° 4) |     |     |     |
|---|--|-----|-----|-----|
|   | 0%   | 4%  | 6%  | 8%  |
| Valor Relativo de Soporte (CBR) a los 56 golpes de compactación | 49%  | 85% | 98% | 94% |
| Mejoramiento respecto a la muestra patrón                       | 0  | 36% | 49% | 45% |

**NOTA.-** Para el cálculo de los valores experimentales  $r$ ,  $r^2$ ,  $gl$ ,  $t$  y  $p$ , se usó una hoja Excel, la cual se puede detallar en el Anexo II de la presente investigación.

## CAPÍTULO V



## 5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

### 5.1. CONCLUSIONES

- El desecho de Policloruro de Vinilo como estabilizador de suelos si mejora las propiedades mecánicas del material de cantera, tornándolo apto para su uso en la conformación de la capa Base y Sub Base de pavimentos.
- Ya que el desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) tiene excelente rigidez, alta resistencia a la ruptura, resistencia química y considerando los resultados obtenidos de los ensayos de Abrasión, Proctor Modificado, Valor Relativo de Soporte y comparándolos con los requerimientos establecidos por la EG-2013, se llega a la conclusión que el porcentaje más eficiente de desecho de Policloruro de Vinilo (PVC), es el 6%. (Ref. .Pág. 223, ítem 4.3.1.).
- De los diámetros de desecho de Policloruro de Vinilo utilizados en la experimentación. El diámetro de desecho de Policloruro de Vinilo que mejor se comporta para mejorar las propiedades mecánicas del material de cantera es el retenido por la malla N° 10 y la pasante la malla N° 4.
- Utilizando desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) como estabilizador se puede alcanzar el Valor Relativo de Soporte (CBR) requerido por la EG-2013, a una menor compactación.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la estabilización de suelos con desechos de Policloruro de Vinilo, presenta mejores resultados cuando las características físicas del material de cantera, tenga bajo índice de plasticidad ( $IP \leq 7$ ). Ya que en la experimentación se usó material de cantera que se clasifica como Arena Limosa (Cantera Salcedo) con  $IP=2.59$ , Grava limosa Arcillosa (Cantera Jallihuaya) con  $IP=4.45$ , y es en estas dos canteras que se presenta la estabilización de las propiedades: Valor Relativo de Soporte y Abrasión, por presentar en su composición suelo fino-Limo, que produce fricción entre el suelo y el desecho. Y ocurre lo contrario con la cantera Cuntur



Wasi que tiene una clasificación SUCS OL (IP=11.27), que por presentar en su composición suelo fino-arcilla, produce el deslizamiento entre el suelo y el desecho no existiendo fricción.

## 5.2. SUGERENCIAS

- Para conocer más profundamente la influencia de la inclusión de los desechos de Policloruro de Vinilo en el suelo, se pueden realizar más pruebas para diferentes tipos de canteras, no solo de la Provincia de Puno, sino, de todo el departamento de Puno y del Perú. A parte de lo que se ha desarrollado en la presente tesis de investigación.
- Para la obtención de los desechos de Policloruro de Vinilo (PVC), se sugiere indicar a los proveedores, que los desechos de Policloruro de Vinilo (PVC) deben de estar libre de grasas y sustancias extrañas, que sea uniforme, evitando la contaminación de otros tipos de plásticos, como también que sea uniforme en cuanto a los diámetros a utilizar, para que de esta forma se puedan evitar variaciones en los ensayos y resultados.
- Se recomienda seguir realizando más estudios de los efectos de los desechos de Policloruro de Vinilo en el suelo y realizar tramos de prueba para evaluar el comportamiento funcional en esta zona.
- Se recomienda a las instituciones interesadas, implementar laboratorios con equipos especializados que permitan efectuar estudios más profundos, por ejemplo; para poder determinar la composición química del desecho de Policloruro de Vinilo. Así mismo se debe capacitar al personal técnico-obrero que manipulara los desechos de Policloruro de Vinilo, para el reciclado, el manejo y la colocación en obra; es importante determinar los procedimientos correctos para que los trabajos sean lo más eficiente, eficaz y segura. Por ejemplo, se recomienda que el suministro y almacenamiento del Desecho de Policloruro de Vinilo debe hacerse teniendo en cuenta los criterios de accesibilidad, distancias, espacios necesarios, seguridad e higiene. Para la adición y extensión de la cantidad de desecho de Policloruro de Vinilo calculado previamente, mediante los estudios de laboratorio, se utilizaran los

equipos que garanticen la precisión requerida para el mezclado del Desecho de PVC y el suelo, en todo el espesor de la capa (sea Base y/o Sub Base) mediante las pasadas necesarias para lograr su homogeneidad, compactación mecánica y humectación, hasta conseguir las densidades necesarias para la conformación de la Capa Base y Sub Base de Pavimentos.

- Ya que la disposición de desecho de Policloruro de Vinilo es limitado, se recomienda crear entidades y/o empresas que se dediquen exclusivamente al reciclado y estudio de desechos de Policloruro de Vinilo (PVC), para que de esta forma se puedan tener cantidades que abastezcan los proyectos carreteros en nuestra Provincia de Puno-Distrito de Puno. También se sugiere que con las cantidades de desechos de Policloruro de vinilo que se tienen acumulados en la actualidad, se puedan realizar proyectos en tramos de prueba real, para evaluar el comportamiento funcional en esta zona, por ejemplo en proyectos de pistas que a menudo se realizan en nuestro distrito de Puno.

### 5.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Caminos.-** Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

**Canteras.-** Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

**Costes.-** O costo, es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien o servicio.

**Deflexión (suelos).-** El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

**Densidad (suelos).-** Cociente entre la masa de un suelo y su volumen a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m<sup>3</sup>.

**Densidad Compactada Húmeda.-** Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa húmeda por su volumen.

**Desecho.-** Cosa que sobra o resto inservible que queda de algo después de haberlo consumido o trabajado.

**Estabilización de suelos:** Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de

rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

**Estabilizador de Suelos.-** Producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

**Humedad Óptima.-** Porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada, presenta su máxima densidad (DMCS).

**Lixiviación.-** Es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

**Mantenimiento vial.-** Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

**Materiales granulares.-** Es aquella que está formada por un conjunto de partículas macroscópicas sólidas lo suficientemente grandes para que la única fuerza de interacción entre ellas sea la de fricción.

**Pavimentos.-** Estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub base, base y rodadura.

**Policloruro de vinilo.-** Es un polímero sintético de adición que se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, y es la materia prima para la preparación del PVC.

**Polímeros.-** Es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamados monómeros.

**Polución.-** Contaminación intensa y dañina del agua, del aire o del medio ambiente, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos.

**Zahorra.-** Es el material formado por áridos no triturados, suelos granulares, o una mezcla de ambos, cuya granulometría es de tipo continuo.

## 5.4. 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.
- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P., & Zepeda, F. (1998). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe*. Diagnóstico, Washington, D.C.
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (1999). *Estudio sobre el Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicano*. Informe final, Kokusai Kogyo Co.
- Alvarez Castillo, S. (2007). *Caracterización y Aprovechamiento de residuos de las empresas PRIMEX (PVC) y BASF (ABS): Aplicación en Mezclas Plásticas*. Tesis para Obtener el Grado de Maestría en Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Altamira-Tamaulipas.
- América Economía. (19 de Marzo de 2014). *Perú proyecta crecimiento del 9% en sector de la construcción para 2014*. Obtenido de Negocios & Industrias: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/peru-proyecta-crecimiento-del-9-en-sector-de-la-construccion-para-2014>
- Ascencio Costa, N., & Arce Latorre , J. (2010). *Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno*. Propuesta de Actualización y Modificación, Municipalidad Provincial de Puno, Puno.
- Berdichevsky, G. (2006). *Asistencia Técnica en Mantenimiento de la Red de carreteras Primarias y Especiales-Manual de Procedimientos de Laboratorio*. San Salvador.
- Braun, D. (1 de enero de 2002). "Reciclaje de PVC", los avances en la ciencia de polímeros. *Woodhead Publishing Series Textiles*, 27, 2171-2195.
- 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.
- Brown Salazar , D. (2003). *Guía para la gestión del Manejo de Residuos Sólidos municipales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias. El Salvador: PROARCA.
- Cadenas Armentia, J., Romero Robles, B., & Ainchil Lavin, J. (2008). Innovaciones en los Modernos Tratamientos In Situ O en Capas de Granulares de Firme con Empleo de Residuos y Subproductos como Herramientas de Gestión Eficiente y Sostenible de las Infraestructuras Viarias. *FCC CONTRUCCION*, 1-12.
- Canela, M. (2006). *Curso de Estadística*. Curso, Facultad de Farmacia.
- Carpio Pesántez, J. (2014). *Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento proveniente de la Mina de Llatcon como elemento estructural para pavimentos flexibles*. Tesis previa a la obtención del título de Máster en Geología Aplicada y Geotécnia, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Comite Inter Institucional para el mejoramiento de la Salud Ambiental - CIIMSA. (2004). *Educación Ambiental con Énfasis en Residuos Sólidos y Salud Ambiental*. Puno: CIED PUNO.
- Competencias técnicas en aseguramiento y control de calidad en obras viales. (2009). Estructura del Pavimento. *Programa de Certificación Vial*, 1-18.
- CONAM. (2004). *Diagnóstico situacional y propuestas de gestión y manejo de los empaques rígidos para productos de consumo masivo*. Lima.
- Consejería de Obras Públicas y Vivienda. (2011). *Convenio de Investigación y Utilización de Polímeros en la Estabilización de Suelos para su uso en Carreteras*. EXPTE. GIASA: G-GI-1003-IDI-0 , Andalucía.
- Cortina Ramírez, J. (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción, Universidad de las Américas Puebla, México.
- Dietrich, B. (s.f.). "Reciclaje de PVC", los avances en la ciencia de polímeros. *Woodhead Publishing* .
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Manual de Carreteras, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima.
- Lambe, W. (1996). *Mecánica de Suelos*. México, D.F.: Limusa.

- López Lara, T., Hernández Zaragoza, J., & Horta Rangel, J. (Enero de 2010). Polímeros para la Estabilización Volumétrica de Arcillas Expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(3), 159-168.
- Mendoza Mendiola, M., & Guadarrama Ramos, J. (2008). *Bases y SubBases*. México: Unidad Zacatenco.
- Ministerio de Transportes comunicaciones Vivienda y Construcción. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2008). *Competencias Técnicas en Aseguramiento y Control De Calidad en Obras Viales*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Informe Anual de Residuos Sólidos municipales en el Perú*. Informe, Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales Y No Municipales*. Informe, Ministerio del Ambiente, Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales y no Municipales en el Perú Gestión 2012*. Informe, Ministerio del Ambiente, Lima.
- Morales Cárdenas, P., Chávez Arévalo, O., & López Poveda, L. (2009). *Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles*. Investigación Monográfica, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2013). *Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Puno*. Municipalidad Provincial de Puno, Puno.
- Navarro, E. (2014). *Guía de Interpretación de Resultados en el Contraste de Hipótesis Estadísticas*. Edición 4.
- Noticias en Mi Peru Red. (05 de Junio de 2013). *Ciudades de Puno y Juliaca generan 355 toneladas de basura diariamente*. (H. Ccopa, & K. Zamata, Editores)  
Obtenido de Sociedad:  
<http://www.miperured.com/Noticias/Sociedad/20130605/72020-red-.html>
- Ortega Quiroz, J. (2008). *Análisis comparativo de las normas anteriores y actuales de materiales sub bases y bases*. México: Unidad Zacatenco.
- Perú21.PE. (26 de septiembre de 2014). *El 40% de la red vial nacional aún no está pavimentada*. Obtenido de Economía: <http://peru21.pe/economia/40-red-vial-nacional-aun-no-esta-pavimentada-2164583>

- Pradena, M., Mery, J., & Novoa, E. (Diciembre de 2010). Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña. *Revista de la Construcción*, 9(2), 97-107.
- 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>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Norma Estabilización de Suelos Y Taludes CE. 020*. Lima.
- Reyes Ortiz, O. (julio de 2000). Empleo de basura para mejorar las propiedades mecánicas de una estructura de pavimento. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 85-89.
- Reyes Ortiz, O., Camacho Tauta, J., & Troncoso Rivera, J. (agosto de 2006). Uso de Cloruro de Sodio en Bases Granulares. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(1), 63-71.
- Ricaldoni, J. (2008). *Tablas y Ábacos*. Curso de Geología de Ingeniería e Introducción a la Mecánica de Suelos, Instituto de Estructuras y Transporte, Montevideo.
- 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.
- Rodríguez Rincón, E., Rondón Quintana, H., & Vélez Pinzón, D. (Diciembre de 2006). Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 21-30.
- Rubin, L., & Balderas del Valle, G. (2004). *Estadística para Administración y Economía* (Séptima ed.). (G. Trujano Mendoza, Ed.) México: Pearson Educación.
- Salazar Ceballos, A. (2013). *Coefficiente de Correlación de Pearson*. Universidad del Magdalena, Magdalena.
- Sánchez Leal, F. (2012). *Proctor vs RAMCODES*. Universidad Nacional Experimental «Francisco de Miranda» (UNEFM). Venezuela: Solestudios (fundasolestudios).
- Suárez, M. (2012). *Interaprendizaje de Estadística Básica*. Universidad Técnica del Norte Ibarra. Ecuador: Offset M&V.

- Tapia Yagual, N. (2005). *Estudio de factibilidad para una planta procesadora de resinas de PVC*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Waste Innovation S.A.C. (2010). *Estudio de caracterización de residuos sólidos (domiciliarios y no domiciliarios) del Distrito de Puno*. Estudio, Lima.





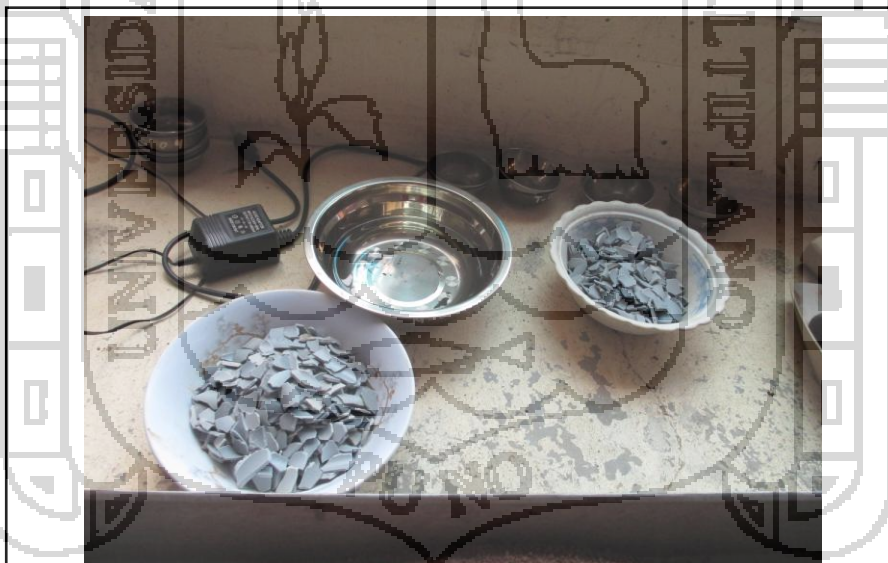
## CAPÍTULO VI

### 6. ANEXOS

#### 6.1. ANEXOS I

##### PANEL FOTOGRÁFICO

En las siguientes imágenes se puede mostrar cómo se ha realizado los ensayos de Proctor Modificado, CBR y su incorporación del desecho de Policloruro de Vinilo (PVC retenidos en la malla N° 3/8” y pasantes la malla N° 3/4) en dichos ensayos.



**IMAGEN 91: Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8” y pasante la malla N° 3/4”**



**IMAGEN 92: Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y muestra para en ensayo Proctor Modificado.**



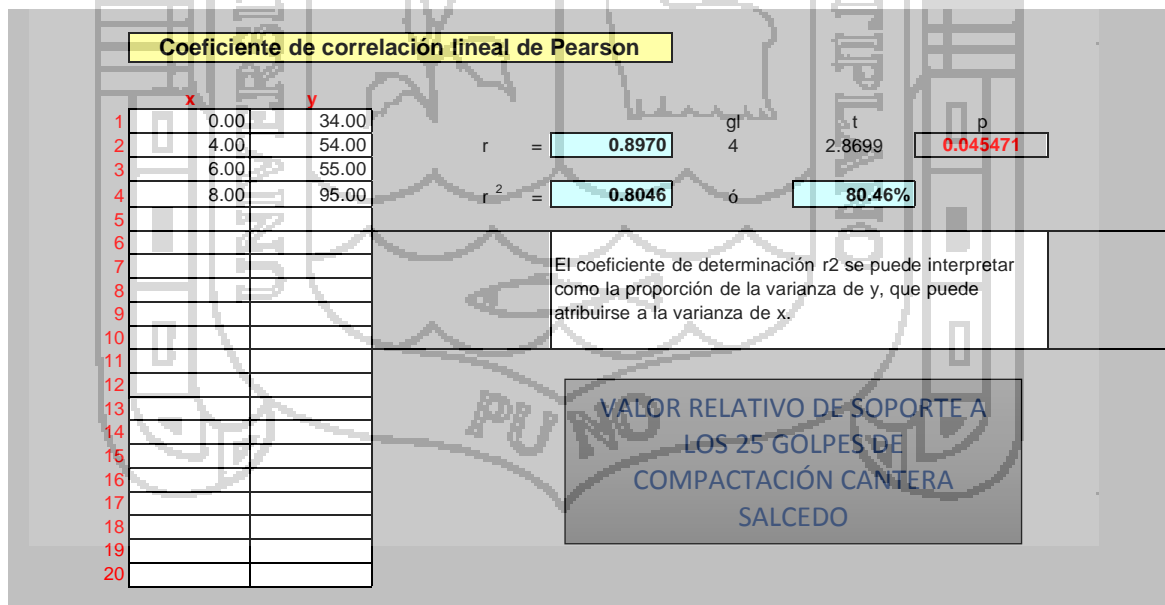
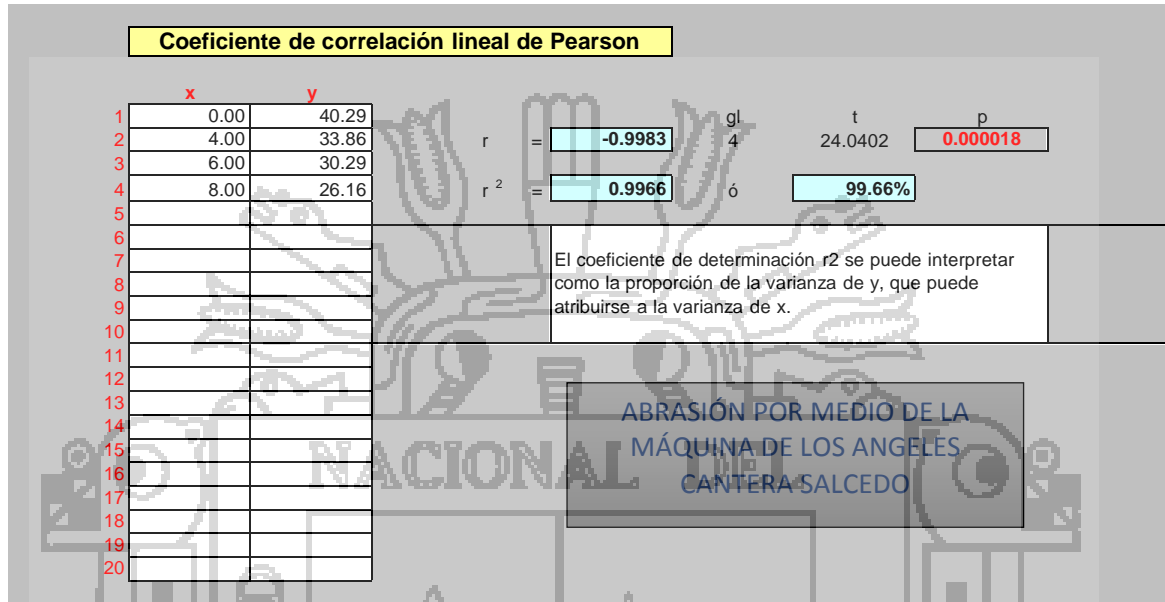
**IMAGEN 93: Mezcla del Desecho de Policloruro de Vinilo retenido en la malla N° 3/8" y pasante la malla N° 3/4"**





## 6.2. ANEXO II

### RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN CON UNA HOJA DE CÁLCULO EXCEL.





**Coefficiente de correlación lineal de Pearson**

|    | x    | y      |
|----|------|--------|
| 1  | 0.00 | 111.00 |
| 2  | 4.00 | 132.00 |
| 3  | 6.00 | 127.00 |
| 4  | 8.00 | 138.00 |
| 5  |      |        |
| 6  |      |        |
| 7  |      |        |
| 8  |      |        |
| 9  |      |        |
| 10 |      |        |
| 11 |      |        |
| 12 |      |        |
| 13 |      |        |
| 14 |      |        |
| 15 |      |        |
| 16 |      |        |
| 17 |      |        |
| 18 |      |        |
| 19 |      |        |
| 20 |      |        |

$$r = 0.9105$$

$$r^2 = 0.8290$$

gl = 4  
t = 3.1138  
p = 0.035741  
ó = 82.90%

El coeficiente de determinación r<sup>2</sup> se puede interpretar como la proporción de la varianza de y, que puede atribuirse a la varianza de x.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN CANTERA SALCEDO

**Coefficiente de correlación lineal de Pearson**

|    | x    | y     |
|----|------|-------|
| 1  | 0.00 | 42.79 |
| 2  | 4.00 | 29.61 |
| 3  | 6.00 | 27.35 |
| 4  | 8.00 | 26.16 |
| 5  |      |       |
| 6  |      |       |
| 7  |      |       |
| 8  |      |       |
| 9  |      |       |
| 10 |      |       |
| 11 |      |       |
| 12 |      |       |
| 13 |      |       |
| 14 |      |       |
| 15 |      |       |
| 16 |      |       |
| 17 |      |       |
| 18 |      |       |
| 19 |      |       |
| 20 |      |       |

$$r = -0.9506$$

$$r^2 = 0.9037$$

gl = 4  
t = 4.3325  
p = 0.012326  
ó = 90.37%

El coeficiente de determinación r<sup>2</sup> se puede interpretar como la proporción de la varianza de y, que puede atribuirse a la varianza de x.

ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES CANTERA JALLIHUAYA

**Coeficiente de correlación lineal de Pearson**

|    | x    | y      |
|----|------|--------|
| 1  | 0.00 | 58.00  |
| 2  | 4.00 | 91.00  |
| 3  | 6.00 | 98.00  |
| 4  | 8.00 | 110.00 |
| 5  |      |        |
| 6  |      |        |
| 7  |      |        |
| 8  |      |        |
| 9  |      |        |
| 10 |      |        |
| 11 |      |        |
| 12 |      |        |
| 13 |      |        |
| 14 |      |        |
| 15 |      |        |
| 16 |      |        |
| 17 |      |        |
| 18 |      |        |
| 19 |      |        |
| 20 |      |        |

|                  |               |    |               |                 |
|------------------|---------------|----|---------------|-----------------|
| r =              | <b>0.9885</b> | gl | t             | p               |
|                  |               | 4  | 9.2598        | <b>0.000756</b> |
| r <sup>2</sup> = | <b>0.9772</b> | ó  | <b>97.72%</b> |                 |

El coeficiente de determinación r<sup>2</sup> se puede interpretar como la proporción de la varianza de y, que puede atribuirse a la varianza de x.

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 25 GOLPES DE COMPACTACIÓN CANTERA JALLIHUAYA**

**Coeficiente de correlación lineal de Pearson**

|    | x    | y     |
|----|------|-------|
| 1  | 0.00 | 49.00 |
| 2  | 4.00 | 85.00 |
| 3  | 6.00 | 98.00 |
| 4  | 8.00 | 94.00 |
| 5  |      |       |
| 6  |      |       |
| 7  |      |       |
| 8  |      |       |
| 9  |      |       |
| 10 |      |       |
| 11 |      |       |
| 12 |      |       |
| 13 |      |       |
| 14 |      |       |
| 15 |      |       |
| 16 |      |       |
| 17 |      |       |
| 18 |      |       |
| 19 |      |       |
| 20 |      |       |

|                  |               |    |               |                 |
|------------------|---------------|----|---------------|-----------------|
| r =              | <b>0.9305</b> | gl | t             | p               |
|                  |               | 4  | 3.5936        | <b>0.022888</b> |
| r <sup>2</sup> = | <b>0.8659</b> | ó  | <b>86.59%</b> |                 |

El coeficiente de determinación r<sup>2</sup> se puede interpretar como la proporción de la varianza de y, que puede atribuirse a la varianza de x.

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE A LOS 56 GOLPES DE COMPACTACIÓN CANTERA JALLIHUAYA**

### 6.3. ANEXOS III

#### ENSAYOS Y FICHAS DE OBSERVACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| ENSAYO REALIZADO:           | CONTENIDO DE HUMEDAD   |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO. APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA:                    | SALCEDO  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014   |

| Nro. De Tara              | T-11   | P-2    | F-12   |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Peso de Tara              | 35.49  | 31.95  | 32.23  |
| Peso de Tara + M. Húmeda  | 208.6  | 182.71 | 167.43 |
| Peso de Tara + M. Seca    | 201.44 | 175.33 | 161.42 |
| Peso de Agua              | 7.16   | 7.38   | 6.01   |
| Peso Muestra Seca         | 165.95 | 143.38 | 129.19 |
| Contenido de humedad W%   | 4.31   | 5.15   | 4.65   |
| Promedio cont. Humedad W% | 4.70   |        |        |







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

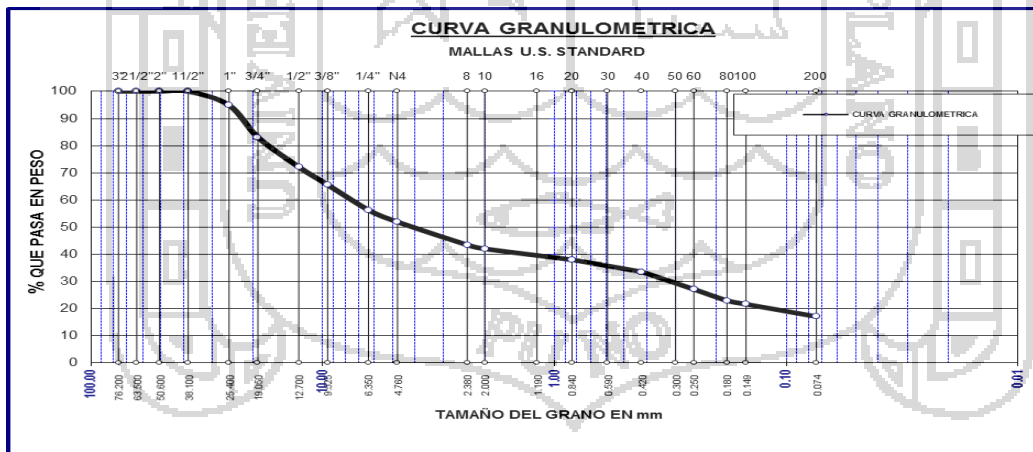


LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:           | GRANULOMETRÍA   |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACION DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA:                    | SALCEDO   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO CORREGIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | PESO RETENIDO | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|--------------|-------------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------|---------------|---------------------------|
| 3"           | 76.200      |                         |                   |                     |            |               | P. L = 1027.00            |
| 2 1/2"       | 63.500      |                         |                   |                     |            |               | P. F = 852.00             |
| 2"           | 50.600      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | P. P = 175.00             |
| 1 1/2"       | 38.100      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | LIMITES DE CONSISTENCIA:  |
| 1"           | 25.400      | 52.10                   | 5.07              | 5.07                | 94.93      | 52.10         | L. L. = 16.46             |
| 3/4"         | 19.050      | 121.65                  | 11.85             | 16.92               | 83.08      | 121.65        | L. P. = 13.87             |
| 1/2"         | 12.700      | 111.86                  | 10.89             | 27.81               | 72.19      | 111.86        | I. P. = 2.59              |
| 3/8"         | 9.525       | 67.60                   | 6.58              | 34.39               | 65.61      | 67.60         | CARACT. GRANULOMETRICAS:  |
| 1/4"         | 6.350       | 95.31                   | 9.28              | 43.67               | 56.33      | 95.31         | D10= ---- Cu= ----        |
| No4          | 4.760       | 44.90                   | 4.37              | 48.04               | 51.96      | 50.53         | D30= 0.325 Cc= ----       |
| No8          | 2.380       | 86.72                   | 8.44              | 56.49               | 43.51      | 86.72         | D60= 7.61                 |
| No10         | 2.000       | 14.96                   | 1.46              | 57.95               | 42.05      | 14.96         | CLASIFICACION:            |
| No16         | 1.190       |                         |                   |                     |            |               | AASHTO: A-1b              |
| No20         | 0.840       | 41.16                   | 4.01              | 61.95               | 38.05      | 41.16         | S.U.C.S. : SM             |
| No30         | 0.590       |                         |                   |                     |            |               | ARENA LIMOSA              |
| No40         | 0.420       | 45.86                   | 4.47              | 66.42               | 33.58      | 45.86         |                           |
| No 50        | 0.300       |                         |                   |                     |            |               |                           |
| No60         | 0.250       | 65.99                   | 6.43              | 72.84               | 27.16      | 65.99         |                           |
| No80         | 0.180       | 42.79                   | 4.17              | 77.01               | 22.99      | 42.79         |                           |
| No100        | 0.149       | 13.77                   | 1.34              | 78.35               | 21.65      | 13.77         |                           |
| No200        | 0.074       | 46.56                   | 4.53              | 82.89               | 17.11      | 46.56         |                           |
| BASE         |             | 175.77                  | 17.11             | 100.00              | 0.00       | 0.77          |                           |
| TOTAL        |             | 1027.00                 | 100.00            |                     |            | 857.63        |                           |
| % PERDIDA    |             |                         |                   |                     |            |               |                           |



|  |      |
|--|------|
| PESO DE LA BANDEJA (g)=                              | 514  |
| PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)= | 1541 |
| PESO DE MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)=              | 1027 |
| PESO DE BANDEJA + MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=  | 1366 |
| PESO DE MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=            | 852  |
| PESO DE MATERIAL QUE HA PASADO LA MALLA NRO 200(g)=  | 175  |



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



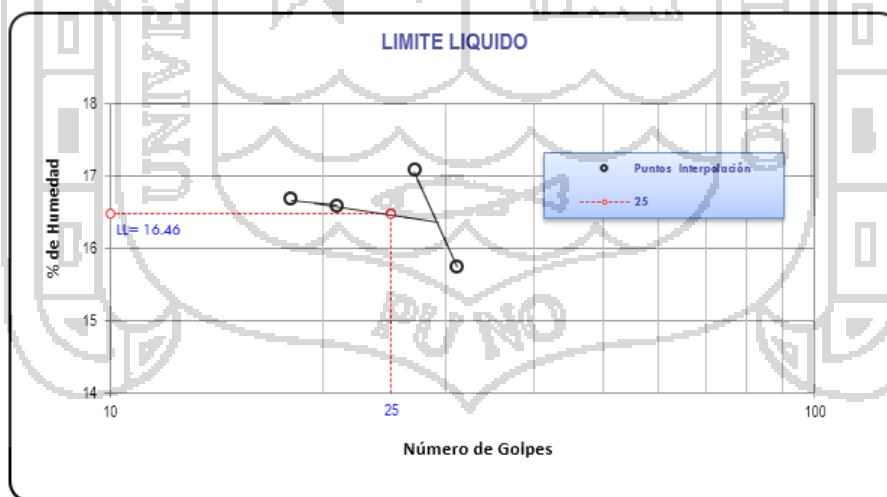
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:           | LÍMITES DE CONSISTENCIA   |  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACION DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA:                    | SALCEDO   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |  |

| LÍMITE LÍQUIDO         |     |        |        |        |        |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|
| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      | 4      |
| CAPSULA                | No  | P-2    | F-12   | W-60   | A-1    |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 49.72  | 48.83  | 52.37  | 52.13  |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 47.18  | 46.47  | 49.65  | 49.87  |
| AGUA                   | gr. | 2.54   | 2.36   | 2.72   | 2.26   |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 31.95  | 32.23  | 33.73  | 35.51  |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 15.23  | 14.24  | 15.92  | 14.36  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD   | %   | 16.68% | 16.57% | 17.09% | 15.74% |
| NUMERO DE GOLPES       | N   | 18     | 21     | 27     | 31     |

| LÍMITE PLÁSTICO        |     |        |        |        |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|
| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      |
| CAPSULA                | No  | 1      | 2      | 3      |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 21.98  | 22.16  | 17.5   |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 21.81  | 22.06  | 17.4   |
| AGUA                   | gr. | 0.17   | 0.1    | 0.1    |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 20.57  | 21.17  | 16.8   |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 1.24   | 0.89   | 0.6    |
| LIMITE PLASTICO        | %   | 13.71% | 11.24% | 16.67% |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| LIMITE LIQUIDO        | 16.46 |
| LIMITE PLASTICO       | 13.87 |
| INDICE DE PLASTICIDAD | 2.59  |



**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:           | CONTENIDO DE HUMEDAD  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA:                    | JALLIHUAYA  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |

| Nro. De Tara              | A-1    | W-60   | T-19   |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Peso de Tara              | 35.51  | 33.73  | 30.42  |
| Peso de Tara + M. Húmeda  | 159.42 | 161.89 | 124.17 |
| Peso de Tara + M. Seca    | 151.83 | 154.2  | 118.23 |
| Peso de Agua              | 7.59   | 7.69   | 5.94   |
| Peso Muestra Seca         | 116.32 | 120.47 | 87.81  |
| Contenido de humedad W%   | 6.53   | 6.38   | 6.76   |
| Promedio cont. Humedad W% | 6.56   |        |        |





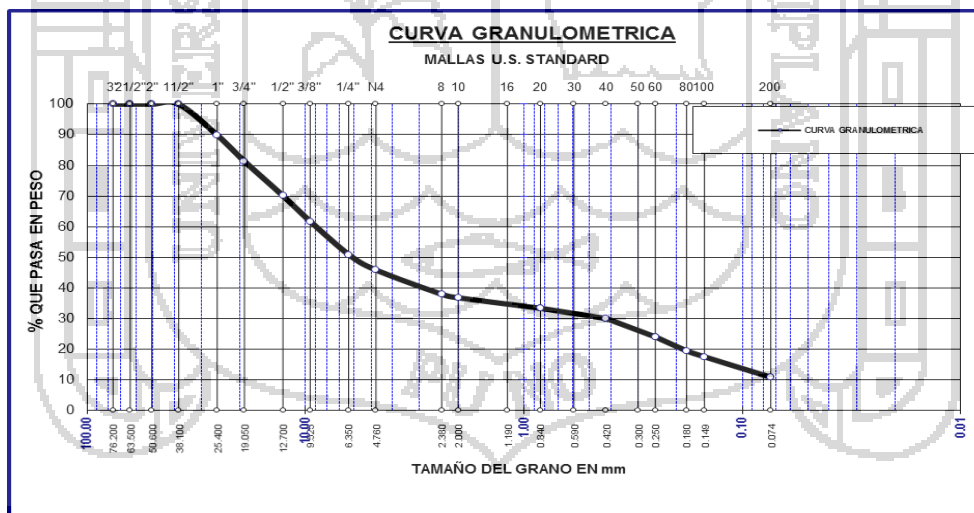
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:           | GRANULOMETRÍA   |  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACION DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA:                    | JALLIHUAYA  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |  |

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO CORREGIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | PESO RETENIDO | DESCRIPCION DE LA MUESTRA   |
|--------------|-------------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------|---------------|---|
| 3"           | 76.200      |                         |                   |                     |            |               | P. I. = 947.00  |
| 2 1/2"       | 63.500      |                         |                   |                     |            |               | P. F. = 845.00  |
| 2"           | 50.600      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | P. P. = 102.00  |
| 1 1/2"       | 38.100      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | <b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b><br>L. L. = 16.93<br>L. P. = 12.48<br>I. P. = 4.45         |
| 1"           | 25.400      | 95.61                   | 10.10             | 10.10               | 89.90      | 95.61         |   |
| 3/4"         | 19.050      | 81.09                   | 8.56              | 18.66               | 81.34      | 81.09         |   |
| 1/2"         | 12.700      | 106.49                  | 11.24             | 29.90               | 70.10      | 106.49        | <b>CARACT. GRANULOMETRICAS:</b><br>D10= 0.068 Cu= 132<br>D30= 0.419 Cc= 0.29<br>D60= 9.01 |
| 3/8"         | 9.525       | 78.88                   | 8.33              | 38.23               | 61.77      | 78.88         |   |
| 1/4"         | 6.350       | 102.61                  | 10.84             | 49.07               | 50.93      | 102.61        |   |
| No4          | 4.760       | 47.80                   | 5.05              | 54.12               | 45.88      | 56.01         | <b>CLASIFICACION:</b><br>AASHTO: A-1-b<br>S.U.C.S.: GM-GC<br><br>GRAVA LIMOSA ARCILLOSA   |
| No8          | 2.380       | 75.00                   | 7.92              | 62.04               | 37.96      | 75.00         |   |
| No10         | 2.000       | 10.86                   | 1.15              | 63.18               | 36.82      | 10.86         |   |
| No16         | 1.190       |                         |                   |                     |            |               |   |
| No20         | 0.840       | 32.46                   | 3.43              | 66.61               | 33.39      | 32.46         |   |
| No30         | 0.590       |                         |                   |                     |            |               |   |
| No40         | 0.420       | 31.71                   | 3.35              | 69.96               | 30.04      | 31.71         |   |
| No 50        | 0.300       |                         |                   |                     |            |               |   |
| No60         | 0.250       | 56.79                   | 6.00              | 75.96               | 24.04      | 56.79         |   |
| No80         | 0.180       | 43.00                   | 4.54              | 80.50               | 19.50      | 43.00         |   |
| No100        | 0.149       | 18.65                   | 1.97              | 82.47               | 17.53      | 18.65         |   |
| No200        | 0.074       | 63.37                   | 6.69              | 89.16               | 10.84      | 63.37         |   |
| BASE         |             | 102.68                  | 10.84             | 100.00              | 0.00       | 0.68          |   |
| TOTAL        |             | 947.00                  | 100.00            |                     |            | 853.21        |   |
| % PERDIDA    |             |                         |                   |                     |            |               |   |



|  |      |
|--|------|
| PESO DE LA BANDEJA (g)=                              | 513  |
| PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)= | 1460 |
| PESO DE MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)=              | 947  |
| PESO DE BANDEJA + MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=  | 1358 |
| PESO DE MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=            | 845  |
| PESO DE MATERIAL QUE HA PASADO LA MALLA NRO 200(g)=  | 102  |



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:           | LÍMITES DE CONSISTENCIA   |  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA:                    | JALLHUAYA   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |  |

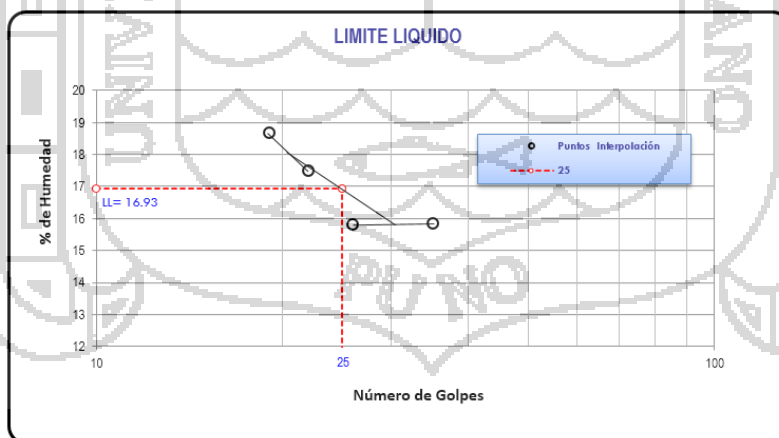
LÍMITE LÍQUIDO

| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      | 4      |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|
| CAPSULA                | No  | T-19   | F-4    | P-1    | T-11   |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 49.48  | 56.98  | 59.49  | 53.17  |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 46.48  | 54.04  | 56.5   | 50.75  |
| AGUA                   | gr. | 3      | 2.94   | 2.99   | 2.42   |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 30.41  | 37.23  | 37.61  | 35.49  |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 16.07  | 16.81  | 18.89  | 15.26  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD   | %   | 18.67% | 17.49% | 15.83% | 15.86% |
| NUMERO DE GOLPES       | N   | 19     | 22     | 26     | 35     |

LÍMITE PLÁSTICO

| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|
| CAPSULA                | No  | A-2    | N-1    | I-4    |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 22.98  | 23.16  | 18.5   |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 22.81  | 23.06  | 18.42  |
| AGUA                   | gr. | 0.17   | 0.1    | 0.08   |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 21.57  | 22.17  | 17.78  |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 1.24   | 0.89   | 0.64   |
| LIMITE PLASTICO        | %   | 13.71% | 11.24% | 12.50% |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| LÍMITE LÍQUIDO        | 16.93 |
| LÍMITE PLÁSTICO       | 12.48 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | 4.45  |





## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

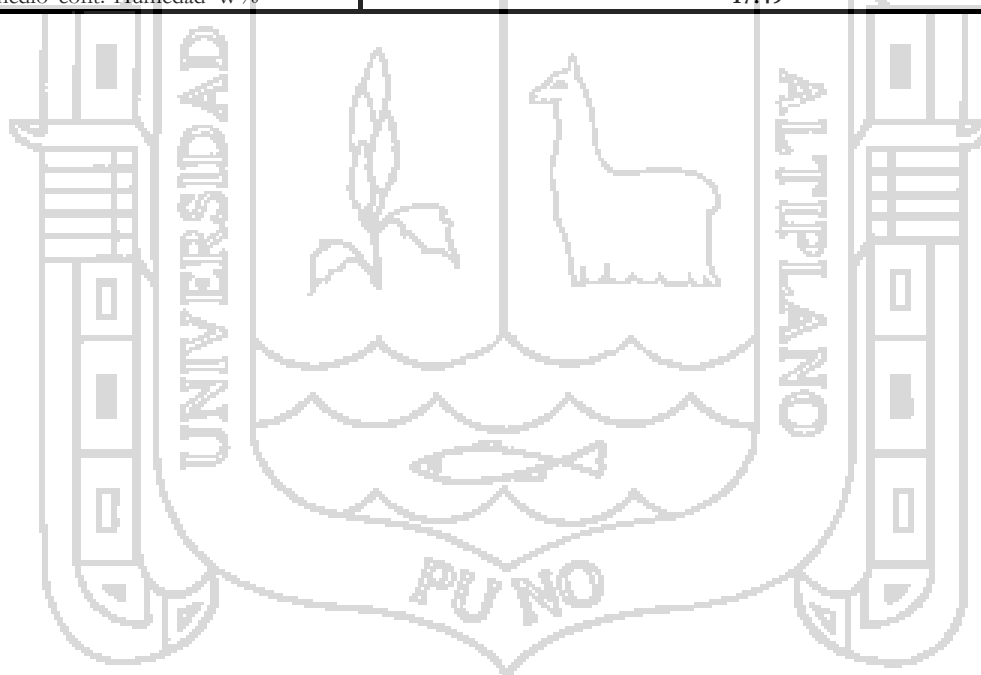
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



### REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:           | CONTENIDO DE HUMEDAD  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA:                    | CUNTUR WASI   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |

| Nro. De Tara              | F-4    | W-20   | P-1    |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Peso de Tara              | 37.22  | 35.48  | 37.61  |
| Peso de Tara + M. Húmeda  | 178.39 | 163.6  | 155.14 |
| Peso de Tara + M. Seca    | 157.29 | 144.05 | 138.16 |
| Peso de Agua              | 21.1   | 19.55  | 16.98  |
| Peso Muestra Seca         | 120.07 | 108.57 | 100.55 |
| Contenido de humedad W%   | 17.57  | 18.01  | 16.89  |
| Promedio cont. Humedad W% | 17.49  |        |        |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

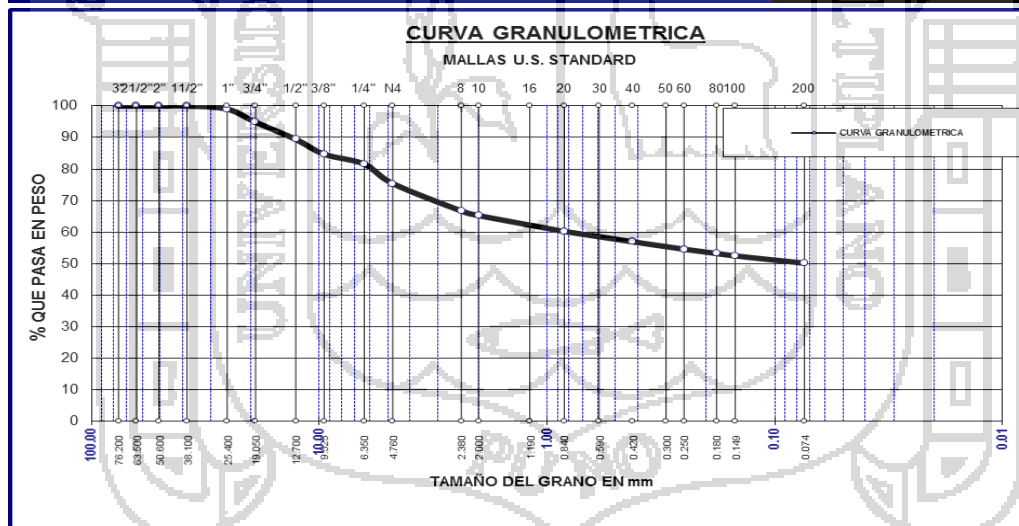


LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:           | GRANULOMETRÍA   |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACION DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO-DISTRITO DE PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA:                    | CUNTUR WASI   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO CORREGIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | PESO RETENIDO | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA   |
|--------------|-------------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------|---------------|---|
| 3"           | 76.200      |                         |                   |                     |            |               | P. I. = 1015.00   |
| 2 1/2"       | 63.500      |                         |                   |                     |            |               | P. F. = 507.00  |
| 2"           | 50.600      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | P. P. = 508.00  |
| 1 1/2"       | 38.100      | 0.00                    | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 0.00          | LÍMITES DE CONSISTENCIA:<br>L. L. = 41.11<br>L. P. = 29.84<br>I. P. = 11.27       |
| 1"           | 25.400      | 9.98                    | 0.98              | 0.98                | 99.02      | 9.98          |   |
| 3/4"         | 19.050      | 42.19                   | 4.16              | 5.14                | 94.86      | 42.19         |   |
| 1/2"         | 12.700      | 55.09                   | 5.43              | 10.57               | 89.43      | 55.09         | CARACT. GRANULOMETRICAS:<br>D10= ---- Cu= ----<br>D30= ---- Cc= ----<br>D60= 0.81 |
| 3/8"         | 9.525       | 47.94                   | 4.72              | 15.29               | 84.71      | 47.94         |   |
| 1/4"         | 6.350       | 31.67                   | 3.12              | 18.41               | 81.59      | 31.67         |   |
| No4          | 4.760       | 62.71                   | 6.18              | 24.59               | 75.41      | 62.71         | CLASIFICACION:<br>AASHTO: A-7-5<br>S.U.C.S.: OL                                   |
| No8          | 2.380       | 88.20                   | 8.69              | 33.28               | 66.72      | 88.20         |   |
| No10         | 2.000       | 14.70                   | 1.45              | 34.73               | 65.27      | 14.70         |   |
| No16         | 1.190       |                         |                   |                     |            |               | ARCILLA LIMOSA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD                                       |
| No20         | 0.840       | 51.36                   | 5.06              | 39.79               | 60.21      | 51.36         |   |
| No30         | 0.590       |                         |                   |                     |            |               |   |
| No40         | 0.420       | 33.25                   | 3.28              | 43.06               | 56.94      | 33.25         |   |
| No 50        | 0.300       |                         |                   |                     |            |               |   |
| No60         | 0.250       | 23.89                   | 2.35              | 45.42               | 54.58      | 23.89         |   |
| No80         | 0.180       | 13.78                   | 1.36              | 46.77               | 53.23      | 13.78         |   |
| No100        | 0.149       | 7.71                    | 0.76              | 47.53               | 52.47      | 7.71          |   |
| No200        | 0.074       | 23.36                   | 2.30              | 49.84               | 50.16      | 23.36         |   |
| BASE         |             | 509.17                  | 50.16             | 100.00              | 0.00       | 1.17          |   |
| TOTAL        |             | 1015.00                 | 100.00            |                     |            | 507.00        |   |
| % PERDIDA    |             |                         |                   |                     |            |               |   |



|  |      |
|--|------|
| PESO DE LA BANDEJA (g)=                              | 571  |
| PESO DE LA BANDEJA + MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)= | 1586 |
| PESO DE MUESTRA SECA ANTES DE LAVAR(g)=              | 1015 |
| PESO DE BANDEJA + MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=  | 1078 |
| PESO DE MUESTRA SECA DESPUES DE LAVAR(g)=            | 507  |
| PESO DE MATERIAL QUE HA PASADO LA MALLA NRO 200(g)=  | 508  |



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



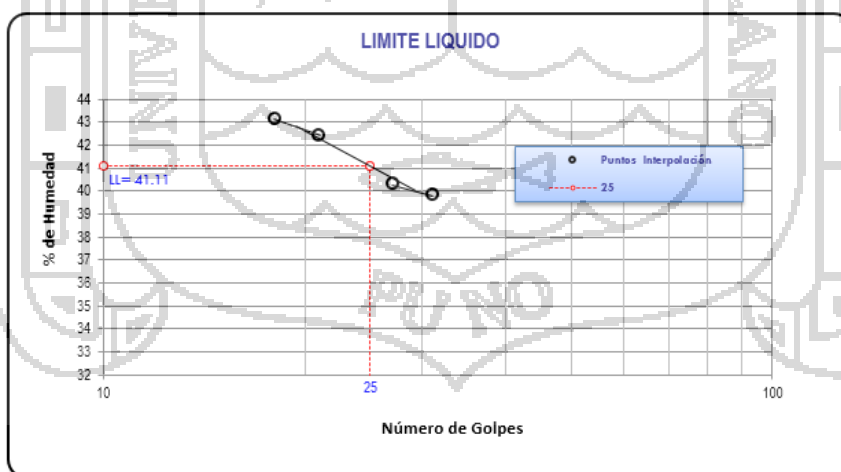
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:           | LÍMITES DE CONSISTENCIA   |  |
| SOLICITANTE:                | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:     | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA:                    | CUNTUR WASI   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO | ENERO DEL 2014  |  |

| LÍMITE LÍQUIDO         |     |        |        |        |        |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|
| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      | 4      |
| CAPSULA                | No  | W-20   | A-15   | N-3    | A-9    |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 52.89  | 30.65  | 32.62  | 32.63  |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 47.93  | 26.71  | 27.73  | 27.86  |
| AGUA                   | gr. | 4.96   | 3.94   | 4.89   | 4.77   |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 35.48  | 16.95  | 16.21  | 16.81  |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 12.45  | 9.76   | 11.52  | 11.05  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD   | %   | 39.84% | 40.37% | 42.45% | 43.17% |
| NUMERO DE GOLPES       | N   | 31     | 27     | 21     | 18     |

| LÍMITE PLÁSTICO        |     |        |        |        |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|
| ENSAYO                 | No  | 1      | 2      | 3      |
| CAPSULA                | No  | F-3    | T-1    | F-2    |
| CAPSULA + SUELO HUMEDO | gr. | 20.49  | 20.64  | 20.2   |
| CAPSULA + SUELO SECO   | gr. | 20.27  | 20.39  | 20.04  |
| AGUA                   | gr. | 0.22   | 0.25   | 0.16   |
| PESO DE LA CAPSULA     | gr. | 19.52  | 19.54  | 19.52  |
| PESO DEL SUELO SECO    | gr. | 0.75   | 0.85   | 0.52   |
| LIMITE PLASTICO        | %   | 29.33% | 29.41% | 30.77% |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| LÍMITE LÍQUIDO        | 41.11 |
| LÍMITE PLÁSTICO       | 29.84 |
| INDICE DE PLASTICIDAD | 11.28 |







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                       |   |         |   |
|---------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                     | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:               | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g)= | 0   | METODO= | A |
| CANTERA=                              | SALCEDO   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO           | ENERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                    | PESO RETENIDO (g) |
|---|--------|---------------------------|-------------------|
| mm  | (alt.) |                           |                   |
| -25.00  | 1"     | A                         | 1230              |
| -19.00  | 3/4"   |                           | 1253              |
| -12.50  | 1/2"   |                           | 1253              |
| -9.50   | 3/8"   |                           | 1240              |
| <b>TOTALES</b>                                |        | PESO INICIAL DE SUELOS(g) | 4976              |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g)   | 0                 |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)    | 4976              |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                           |                   |
| PESO INICIAL DE SUELO (g)                     |        | PESO RETENIDO (g)         | PESO PASANTE (g)  |
| 4976.00                                       |        | 2971                      | 2005.00           |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)      | 4976.00           |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 40.29 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 198.68  | METODO= | A |
| CANTERA=                             | SALCEDO   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ENERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                         | PESO RETENIDO (g)                |
|---|--------|--------------------------------|----------------------------------|
| mm  | (alt.) |                                |                                  |
| -25.00  | 1"     | A                              | 1235                             |
| -19.00  | 3/4"   |                                | 1240                             |
| -12.50  | 1/2"   |                                | 1251                             |
| -9.50   | 3/8"   |                                | 1241                             |
| <b>TOTALES</b>                                |        |                                | <b>PESO INICIAL DE SUELOS(g)</b> |
|   |        | <b>PESO INICIAL DE PVC (g)</b> | <b>198.68</b>                    |
|   |        | <b>PESO TOTAL INICIAL (g)</b>  | <b>5165.68</b>                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                                |                                  |
| <b>PESO INICIAL DE SUELO(g)</b>               |        | <b>PESO RETENIDO (g)</b>       | <b>PESO PASANTE (g)</b>          |
| <b>4967.00</b>                                |        | <b>3285</b>                    | <b>1880.68</b>                   |
|   |        | <b>PESO TOTAL FINAL (g)</b>    | <b>5165.68</b>                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 33.86 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                       |   |         |   |
|---------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                     | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:               | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g)= | 299,46  | METODO= | A |
| CANTERA=                              | SALCEDO   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO           | ENERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                    | PESO RETENIDO (g) |
|---|--------|---------------------------|-------------------|
| mm  | (alt.) |                           |                   |
| -25.00  | 1"     | A                         | 1250              |
| -19.00  | 3/4"   |                           | 1250              |
| -12.50  | 1/2"   |                           | 1251              |
| -9.50   | 3/8"   |                           | 1240              |
| <b>TOTALES</b>                                |        | PESO INICIAL DE SUELOS(g) | 4991.00           |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g)   | 299.46            |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)    | 5290.46           |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                           |                   |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)                      |        | PESO RETENIDO (g)         | PESO PASANTE (g)  |
| 4991.00                                       |        | 3479                      | 1811.46           |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)      | 5290.46           |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 30.29 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                       |   |         |   |
|---------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                     | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:               | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g)= | 400.24  | METODO= | A |
| CANTERA=                              | SALCEDO   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO           | ENERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                         | PESO RETENIDO (g)                |
|---|--------|--------------------------------|----------------------------------|
| mm  | (alt.) |                                |                                  |
| -25.00  | 1"     | A                              | 1259                             |
| -19.00  | 3/4"   |                                | 1254                             |
| -12.50  | 1/2"   |                                | 1250                             |
| -9.50   | 3/8"   |                                | 1240                             |
| <b>TOTALES</b>                                |        |                                | <b>PESO INICIAL DE SUELOS(g)</b> |
|   |        | <b>PESO INICIAL DE PVC (g)</b> | <b>400.24</b>                    |
|   |        | <b>PESO TOTAL INICIAL (g)</b>  | <b>5403.24</b>                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                                |                                  |
| <b>PESO INICIAL DE SUELO(g)</b>               |        | <b>PESO RETENIDO (g)</b>       | <b>PESO PASANTE (g)</b>          |
| 5003.00                                       |        | 3694                           | 1709.24                          |
|   |        | <b>PESO TOTAL FINAL (g)</b>    | <b>5403.24</b>                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 26.16 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 0   | METODO= | A |
| CANTERA=                             | JALLIHUAYA  |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|---|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm  | (alt.) |                         |                           |
| -25.00  | 1"     | A                       | 1231                      |
| -19.00  | 3/4"   |                         | 1237                      |
| -12.50  | 1/2"   |                         | 1249                      |
| -9.50   | 3/8"   |                         | 1247                      |
| TOTALES                                       |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 0.00                      |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 4964.00                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                         |                           |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)                      |        | PESO RETENIDO (g)       | PESO PASANTE (g)          |
| 4964.00                                       |        | 2840                    | 2124.00                   |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)    | 4964.00                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 42.79 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 198.32  | METODO= | A |
| CANTERA=                             | JALLIHUAYA  |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                    | PESO RETENIDO (g) |
|---|--------|---------------------------|-------------------|
| mm  | (alt.) |                           |                   |
| -25.00  | 1"     | A                         | 1235              |
| -19.00  | 3/4"   |                           | 1237              |
| -12.50  | 1/2"   |                           | 1240              |
| -9.50   | 3/8"   |                           | 1246              |
| <b>TOTALES</b>                                |        | PESO INICIAL DE SUELOS(g) | 4958.00           |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g)   | 198.32            |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)    | 5156.32           |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                           |                   |
| PESO INICIAL (g)                              |        | PESO RETENIDO (g)         | PESO PASANTE (g)  |
| 4958.00                                       |        | 3489                      | 1667.32           |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)      | 5156.32           |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 29.63 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                       |   |         |   |
|---------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                     | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:               | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g)= | 298.62  | METODO= | A |
| CANTERA=                              | JALLIHUAYA  |         |   |
| FECHA DE REALIZACION ENSAYO           | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|----------------|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm             | (alt.) |                         |                           |
| -25.00         | 1"     | A                       | 1242                      |
| -19.00         | 3/4"   |                         | 1240                      |
| -12.50         | 1/2"   |                         | 1247                      |
| -9.50          | 3/8"   |                         | 1248                      |
| TOTALES        |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|                |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 298.62                    |
|                |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 5275.62                   |

| PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION |                      |                  |
|--|----------------------|------------------|
| PESO INICIAL DE SUELO(g)               | PESO RETENIDO (g)    | PESO PASANTE (g) |
| 4977.00                                | 3616                 | 1659.62          |
|  | PESO TOTAL FINAL (g) | 5275.62          |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 27.35 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 398.24  | METODO= | A |
| CANTERA=                             | JALLIHUAYA  |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ |        | METODO                         | PESO RETENIDO (g)                |
|----------------|--------|--------------------------------|----------------------------------|
| mm             | (alt.) |                                |                                  |
| -25.00         | 1"     | A                              | 1243                             |
| -19.00         | 3/4"   |                                | 1240                             |
| -12.50         | 1/2"   |                                | 1246                             |
| -9.50          | 3/8"   |                                | 1249                             |
| <b>TOTALES</b> |        |                                | <b>PESO INICIAL DE SUELOS(g)</b> |
|                |        | <b>PESO INICIAL DE PVC (g)</b> | <b>398.24</b>                    |
|                |        | <b>PESO TOTAL INICIAL (g)</b>  | <b>5376.24</b>                   |

| PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION |                   |                  |
|--|-------------------|------------------|
| PESO INICIAL DE SUELO(g)               | PESO RETENIDO (g) | PESO PASANTE (g) |
| 4978.00                                | 3676              | 1700.24          |
| <b>PESO TOTAL FINAL (g)</b>            |                   | <b>5376.24</b>   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 26.16 |
|----------------|-------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 0   | METODO= | A |
| CANTERA=                             | CUNTUR WASI   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|---|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm  | (alt.) |                         |                           |
| -25.00  | 1"     | A                       | 1226                      |
| -19.00  | 3/4"   |                         | 1228                      |
| -12.50  | 1/2"   |                         | 1242                      |
| -9.50   | 3/8"   |                         | 1243                      |
| TOTALES                                       |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 0.00                      |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 4939.00                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                         |                           |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)                      |        | PESO RETENIDO (g)       | PESO PASANTE (g)          |
| 4939.00                                       |        | 2947                    | 1992.00                   |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)    | 4939.00                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 40.33 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 198.08  | METODO= | A |
| CANTERA=                             | CUNTUR WASI   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                         |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|--|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm                                     | (alt.) |                         |                           |
| -25.00                                 | 1"     | A                       | 1225                      |
| -19.00                                 | 3/4"   |                         | 1238                      |
| -12.50                                 | 1/2"   |                         | 1245                      |
| -9.50                                  | 3/8"   |                         | 1244                      |
| TOTALES                                |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|  |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 198.08                    |
|  |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 5150.08                   |
| PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION |        |                         |                           |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)               |        | PESO RETENIDO (g)       | PESO PASANTE (g)          |
| 4952.00                                |        | 3242                    | 1908.08                   |
|  |        | PESO TOTAL FINAL (g)    | 5150.08                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 34.53 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                       |   |         |   |
|---------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                     | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (11/2")   |         |   |
| SOLICITANTE:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:               | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g)= | 296.88  | METODO= | A |
| CANTERA=                              | CUNTUR WASI   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO           | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|---|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm  | (alt.) |                         |                           |
| -25.00  | 1"     | A                       | 1227                      |
| -19.00  | 3/4"   |                         | 1230                      |
| -12.50  | 1/2"   |                         | 1244                      |
| -9.50   | 3/8"   |                         | 1247                      |
| TOTALES                                       |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 296.88                    |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 5244.88                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                         |                           |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)                      |        | PESO RETENIDO (g)       | PESO PASANTE (g)          |
| 4948.00                                       |        | 3385                    | 1859.88                   |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)    | 5244.88                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 31.59 |
|----------------|-------|



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |         |   |
|--------------------------------------|---|---------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de (1 1/2")  |         |   |
| SOLICITANTE:                         | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |         |   |
| UBICACION DEL PROYECTO:              | PROVINCIA DE PUNO - DISTRITO DE PUNO  |         |   |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |         |   |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4(g)= | 396.00  | METODO= | A |
| CANTERA=                             | CUNTUR WASI   |         |   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO 2014  |         |   |

| RETENIDO TAMIZ                                |        | METODO                  | PESO RETENIDO (g)         |
|---|--------|-------------------------|---------------------------|
| mm  | (alt.) |                         |                           |
| -25.00  | 1"     | A                       | 1228                      |
| -19.00  | 3/4"   |                         | 1232                      |
| -12.50  | 1/2"   |                         | 1244                      |
| -9.50   | 3/8"   |                         | 1246                      |
| TOTALES                                       |        |                         | PESO INICIAL DE SUELOS(g) |
|   |        | PESO INICIAL DE PVC (g) | 396.00                    |
|   |        | PESO TOTAL INICIAL (g)  | 5346.00                   |
| <b>PESOS DEL MATERIAL SOMETIDO A ABRASION</b> |        |                         |                           |
| PESO INICIAL DE SUELO(g)                      |        | PESO RETENIDO (g)       | PESO PASANTE (g)          |
| 4950.00                                       |        | 3479                    | 1867.00                   |
|   |        | PESO TOTAL FINAL (g)    | 5346.00                   |

|                |       |
|----------------|-------|
| % de desgaste= | 29.72 |
|----------------|-------|

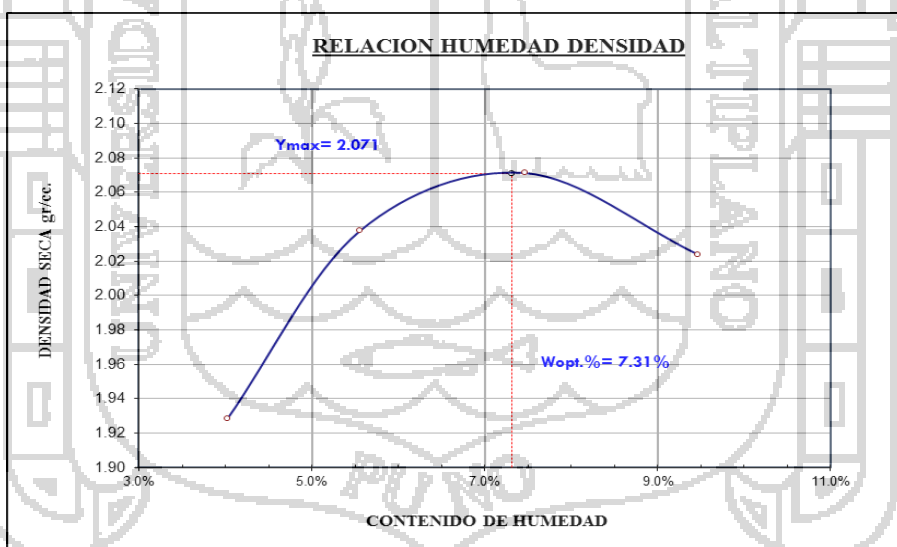
**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |  |
|---|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                       | PROCTOR MODIFICADO  |  |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |  |
| 4% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 240   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DEL 2014  |  |
| METODO DE COMPACTACION                  | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |

|                           |                 |         |         |         |         |
|---------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm <sup>3</sup> | 2121.48 | 2121.48 | 2121.48 | 2121.48 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.             | 10448   | 10756   | 10915   | 10893   |
| Peso del Molde            | gr.             | 6193    | 6193    | 6193    | 6193    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc.          | 4255    | 4563    | 4722    | 4700    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc           | 2.01    | 2.15    | 2.23    | 2.22    |

| Capsula No                     | No  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 104.24 | 105.14 | 104.73 | 107.75 | 107.06 | 125.79 | 134.32 | 149.62 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 100.86 | 101.84 | 99.83  | 103.19 | 100.86 | 118.49 | 124.27 | 138.67 |
| Peso del Agua                  | gr. | 3.38   | 3.30   | 4.90   | 4.56   | 6.20   | 7.30   | 10.05  | 10.95  |
| Peso de la Capsula             | gr. | 16.99  | 19.57  | 16.21  | 16.42  | 16.32  | 22.36  | 19.34  | 21.65  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 83.87  | 82.27  | 83.62  | 86.77  | 84.54  | 96.13  | 104.93 | 117.02 |
| % de Humedad                   | %   | 4.03%  | 4.01%  | 5.86%  | 5.26%  | 7.33%  | 7.59%  | 9.58%  | 9.36%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 4.02%  |        | 5.56%  |        | 7.46%  |        | 9.47%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.928  |        | 2.038  |        | 2.071  |        | 2.024  |        |

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | <b>2.07 gr/cc</b> |
| HUMEDAD OPTIMA :       | <b>7.31%</b>      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |
|---|---|
| ENSAYO REALIZADO:                       | CBR   |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |
| 4% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 240   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DE 2014   |
| METODO DE COMPACTACIÓN                  | A   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12617   | 12853   | 13032   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7803    | 7880    | 7922    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4814    | 4973    | 5110    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2284.33 | 2269.32 | 2271.31 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.107   | 2.191   | 2.250   |

|                               |        |        |        |        |       |        |       |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6     |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 101.49 | 102.78 | 102.52 | 96.28 | 102.52 | 89.20 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 95.59  | 97.27  | 97.06  | 91.09 | 96.78  | 84.43 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 5.90   | 5.51   | 5.46   | 5.19  | 5.74   | 4.77  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 16.26  | 21.21  | 20.07  | 18.56 | 17.11  | 16.79 |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 79.33  | 76.06  | 76.99  | 72.53 | 79.67  | 67.64 |
| % de Humedad                  | %      | 7.44%  | 7.24%  | 7.09%  | 7.16% | 7.20%  | 7.05% |
| Promedio de Humedad           | %      | 7.34%  |        | 7.12%  |       | 7.13%  |       |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.963  |        | 2.046  |       | 2.100  |       |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |        | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       |
|------------|------------|--------|-------|-----------|--------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|            |            |        |       | mm        | %      |        | mm        | %     |        | mm        | %     |
| 18/03/2014 | 12:26 p.m. | 0 h.   | 13.95 | 0         | 0      | 12.271 | 0         | 0     | 18.49  | 0         | 0     |
| 22/03/2014 | 12:26 p.m. | 96 h.  | 13.84 | -0.11     | -0.088 | 12.34  | 0.069     | 0.055 | 18.468 | -0.022    | -0.02 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.94       | 95.8  | 4.8    |         | 2.26       | 230.4  | 11.65  |         | 2.05       | 209.0  | 10.6   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 1.89       | 192.7 | 9.7    |         | 5.01       | 510.7  | 25.82  |         | 4.75       | 484.2  | 24.5   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 2.86       | 291.5 | 14.7   |         | 7.95       | 810.4  | 40.97  |         | 7.92       | 807.4  | 40.8   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 3.71       | 378.2 | 19.1   |         | 10.80      | 1101.0 | 55.65  |         | 12.69      | 1293.6 | 65.4   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 5.34       | 544.4 | 27.5   |         | 15.77      | 1607.6 | 81.26  |         | 19.16      | 1953.2 | 98.7   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 6.70       | 683.0 | 34.5   |         | 19.49      | 1986.8 | 100.43 |         | 24.42      | 2489.4 | 125.8  |         |



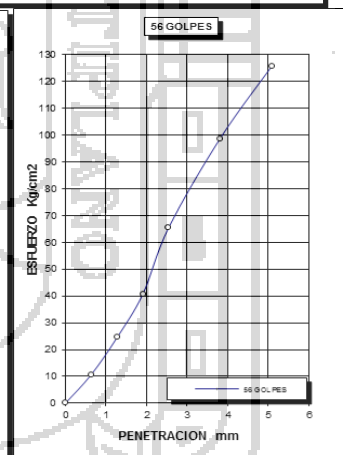
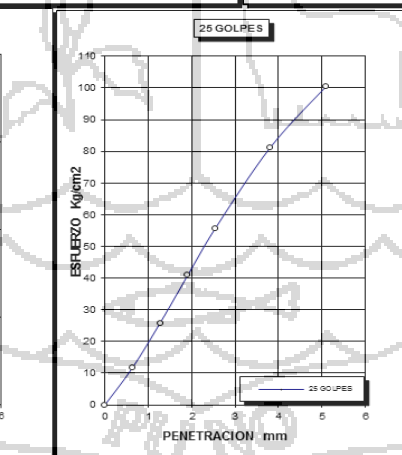
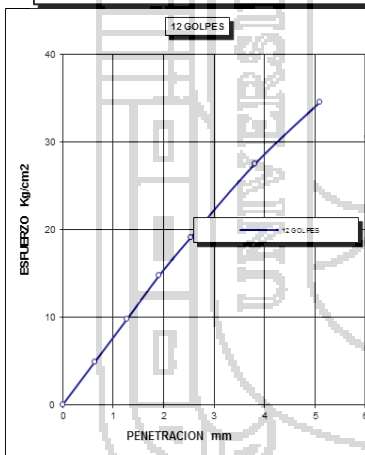
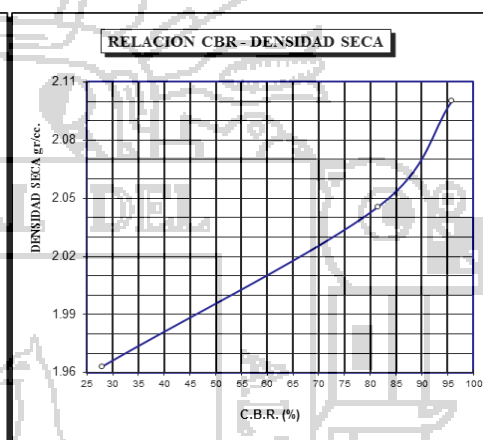
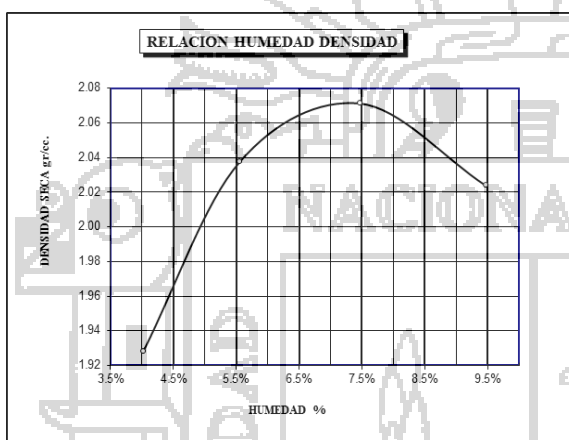
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |                          |       |
|---|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                       | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |                          |       |
| 4% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 240   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN                  | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                    | 2.07 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 7.31% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)               | 96  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 30.6  |



CBR 28

CBR 82

CBR 96

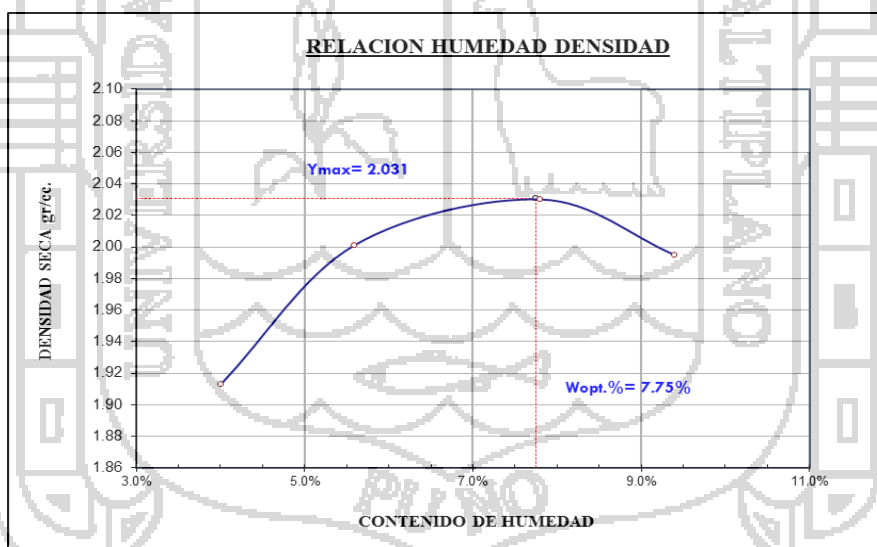
**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |  |
|---|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                       | PROCTOR MODIFICADO  |  |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |  |
| 6% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 360   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DEL 2014  |  |
| METODO DE COMPACTACION                  | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2121.48 | 2121.48 | 2121.48 | 2121.48 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10414   | 10676   | 10836   | 10823   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6193    | 6193    | 6193    | 6193    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4221    | 4483    | 4643    | 4630    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 1.99    | 2.11    | 2.19    | 2.18    |

| Capsula No                     | No  | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 99.51 | 117.34 | 117.94 | 103.62 | 131.84 | 107.22 | 120.95 | 114.30 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 96.32 | 113.60 | 112.50 | 99.05  | 123.89 | 100.79 | 112.33 | 106.00 |
| Peso del Agua                  | gr. | 3.19  | 3.74   | 5.44   | 4.57   | 7.95   | 6.43   | 8.62   | 8.30   |
| Peso de la Capsula             | gr. | 16.80 | 20.08  | 16.55  | 16.26  | 21.83  | 18.56  | 21.21  | 17.11  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 79.52 | 93.52  | 95.95  | 82.79  | 102.06 | 82.23  | 91.12  | 88.89  |
| % de Humedad                   | %   | 4.01% | 4.00%  | 5.67%  | 5.52%  | 7.79%  | 7.82%  | 9.46%  | 9.34%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 4.01% |        | 5.59%  |        | 7.80%  |        | 9.40%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.913 |        | 2.001  |        | 2.030  |        | 1.995  |        |

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | <b>2.03 gr/cc</b> |
| HUMEDAD OPTIMA :       | <b>7.75%</b>      |







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |
|---|---|
| ENSAYO REALIZADO:                       | CBR   |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |
| 6% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 360   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DE 2014   |
| METODO DE COMPACTACIÓN                  | A   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12054   | 11728   | 11780   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7185    | 6807    | 6602    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4869    | 4921    | 5178    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2282.30 | 2284.30 | 2294.35 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.133   | 2.154   | 2.257   |

|                               |        |       |        |       |        |        |       |
|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Capsula No                    | No     | 1     | 2      | 3     | 4      | 5      | 6     |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 99.95 | 110.76 | 98.61 | 118.84 | 105.13 | 97.54 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 94.42 | 104.48 | 93.13 | 112.28 | 99.12  | 91.46 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 5.53  | 6.28   | 5.48  | 6.56   | 6.01   | 6.08  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 21.90 | 21.58  | 19.57 | 22.36  | 19.34  | 16.99 |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 72.52 | 82.90  | 73.56 | 89.92  | 79.78  | 74.47 |
| % de Humedad                  | %      | 7.63% | 7.58%  | 7.45% | 7.30%  | 7.53%  | 8.16% |
| Promedio de Humedad           | %      | 7.60% |        | 7.37% |        | 7.85%  |       |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.983 |        | 2.006 |        | 2.093  |       |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial   | Expansión |      | Dial   | Expansión |       | Dial  | Expansión |      |
|------------|------------|--------|--------|-----------|------|--------|-----------|-------|-------|-----------|------|
|            |            |        |        | mm        | %    |        | mm        | %     |       | mm        | %    |
| 18/03/2014 | 12:26 p.m. | 0 h.   | 18.614 | 0         | 0    | 14.045 | 0         | 0     | 9.678 | 0         | 0    |
| 22/03/2014 | 12:26 p.m. | 96 h.  | 18.635 | 0.021     | 0.02 | 13.99  | -0.05     | -0.04 | 9.68  | 0.002     | 0.00 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.39       | 141.7 | 7.2    |         | 1.88       | 191.6  | 9.69   |         | 1.68       | 171.3  | 8.7    |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 2.64       | 269.1 | 13.6   |         | 3.98       | 405.7  | 20.51  |         | 3.45       | 351.7  | 17.8   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 3.98       | 405.7 | 20.5   |         | 7.07       | 720.7  | 36.43  |         | 6.41       | 653.4  | 33.0   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 5.22       | 532.1 | 26.9   |         | 10.23      | 1042.8 | 52.71  |         | 10.88      | 1109.1 | 56.1   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 7.36       | 750.3 | 37.9   |         | 13.77      | 1403.7 | 70.96  |         | 15.33      | 1562.7 | 79.0   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 8.87       | 904.2 | 45.7   |         | 16.63      | 1695.3 | 85.69  |         | 17.56      | 1790.1 | 90.5   |         |



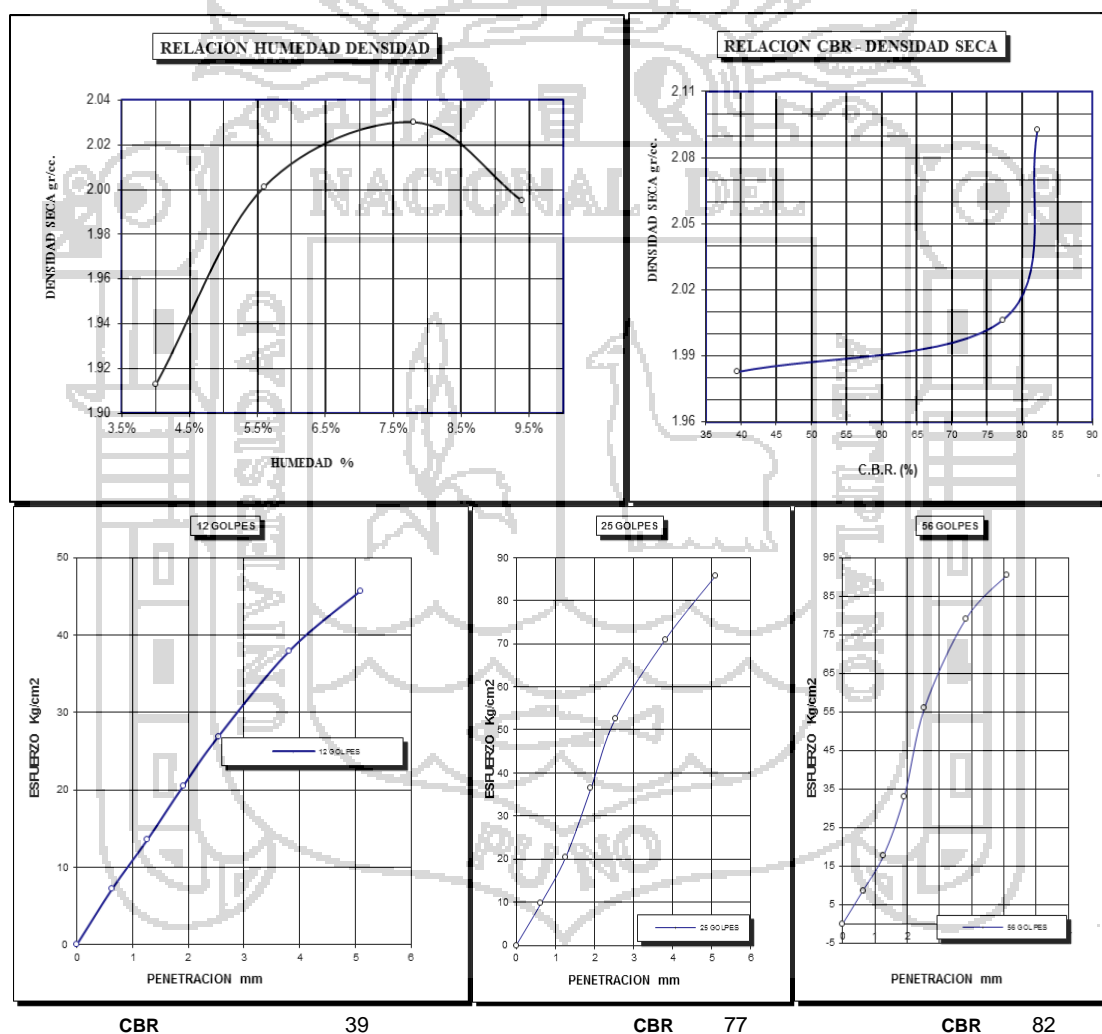
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|   |   |                          |       |
|---|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                       | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                          | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:                 | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:              | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                                 | SALCEDO   |                          |       |
| 6% DE PVC RET. N° 3/8 Y PAS. N° 3/4 (g) | 360   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO             | MARZO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN                  | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                    | 2.03 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 7.75% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)               | 82  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) |       |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



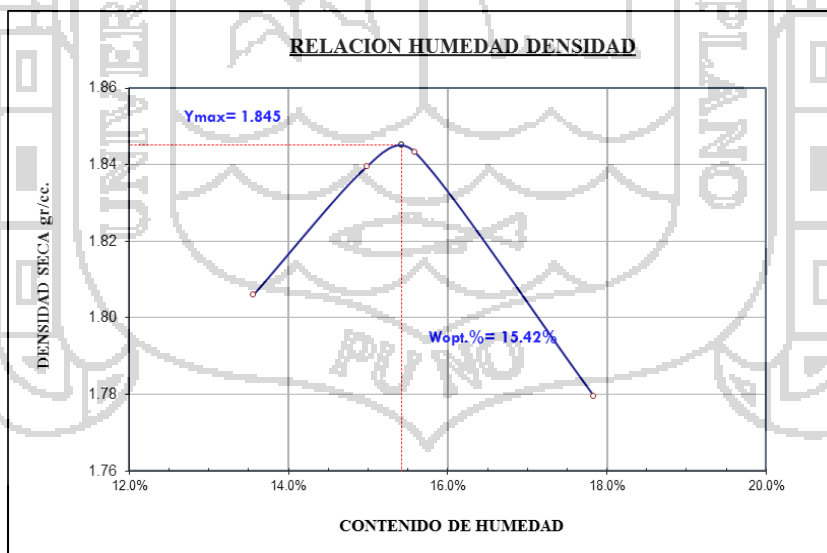
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10589   | 10734   | 10760   | 10695   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6197    | 6204    | 6197    | 6204    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4392    | 4530    | 4563    | 4491    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 2.05    | 2.12    | 2.13    | 2.10    |

|                                |     |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                     | No  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 79.58  | 71.16  | 89.81  | 86.67  | 91.97  | 91.59  | 111.24 | 88.64  |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 72.12  | 64.55  | 80.28  | 77.65  | 82.60  | 82.06  | 97.58  | 77.85  |
| Peso del Agua                  | gr. | 7.46   | 6.61   | 9.53   | 9.02   | 9.37   | 9.53   | 13.66  | 10.79  |
| Peso de la Capsula             | gr. | 16.55  | 16.26  | 16.82  | 17.32  | 22.00  | 21.40  | 22.00  | 16.54  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 55.57  | 48.29  | 63.46  | 60.33  | 60.60  | 60.66  | 75.58  | 61.31  |
| % de Humedad                   | %   | 13.42% | 13.69% | 15.02% | 14.95% | 15.46% | 15.71% | 18.07% | 17.60% |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 13.56% |        | 14.98% |        | 15.59% |        | 17.84% |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.806  |        | 1.840  |        | 1.843  |        | 1.780  |        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 1.85 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 15.42%     |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO:         | MARZO DE 2014   |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12575   | 12681   | 12776   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7804    | 7882    | 7917    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4771    | 4799    | 4859    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2284.33 | 2269.32 | 2271.31 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.089   | 2.115   | 2.139   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 101.08 | 106.88 | 93.44  | 107.49 | 99.86  | 108.10 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 88.00  | 93.56  | 81.53  | 93.73  | 87.73  | 95.05  |
| Peso del Agua                 | gr.    | 13.08  | 13.32  | 11.91  | 13.76  | 12.13  | 13.05  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 19.52  | 21.92  | 16.27  | 17.78  | 21.90  | 21.88  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 68.48  | 71.64  | 65.26  | 75.95  | 65.83  | 73.17  |
| % de Humedad                  | %      | 19.10% | 18.59% | 18.25% | 18.12% | 18.43% | 17.84% |
| Promedio de Humedad           | %      | 18.85% |        | 18.18% |        | 18.13% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.757  |        | 1.789  |        | 1.811  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |      | Dial  | Expansión |      | Dial  | Expansión |      |
|------------|------------|--------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|
|            |            |        |       | mm        | %    |       | mm        | %    |       | mm        | %    |
| 25/03/2014 | 12:26 p.m. | 0 h.   | 8.25  | 0         | 0    | 7.71  | 0         | 0    | 5.14  | 0         | 0    |
| 29/03/2014 | 12:26 p.m. | 96 h.  | 10.95 | 2.7       | 2.14 | 10.63 | 2.92      | 2.33 | 10.95 | 5.21      | 4.15 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |       |        |         | MOLDE No 3 |       |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|-------|--------|---------|------------|-------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.39       | 39.8  | 2.0    |         | 0.30       | 30.6  | 1.55   |         | 0.35       | 35.7  | 1.8    |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 0.68       | 69.3  | 3.5    |         | 0.50       | 51.0  | 2.58   |         | 0.53       | 54.0  | 2.7    |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 0.97       | 98.9  | 5.0    |         | 0.74       | 75.4  | 3.81   |         | 0.73       | 74.4  | 3.8    |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 1.27       | 129.5 | 6.5    |         | 0.98       | 99.9  | 5.05   |         | 0.93       | 94.8  | 4.8    |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 1.88       | 191.6 | 9.7    |         | 1.50       | 152.9 | 7.73   |         | 1.34       | 136.6 | 6.9    |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 2.43       | 247.7 | 12.5   |         | 2.00       | 203.9 | 10.31  |         | 1.74       | 177.4 | 9.0    |         |



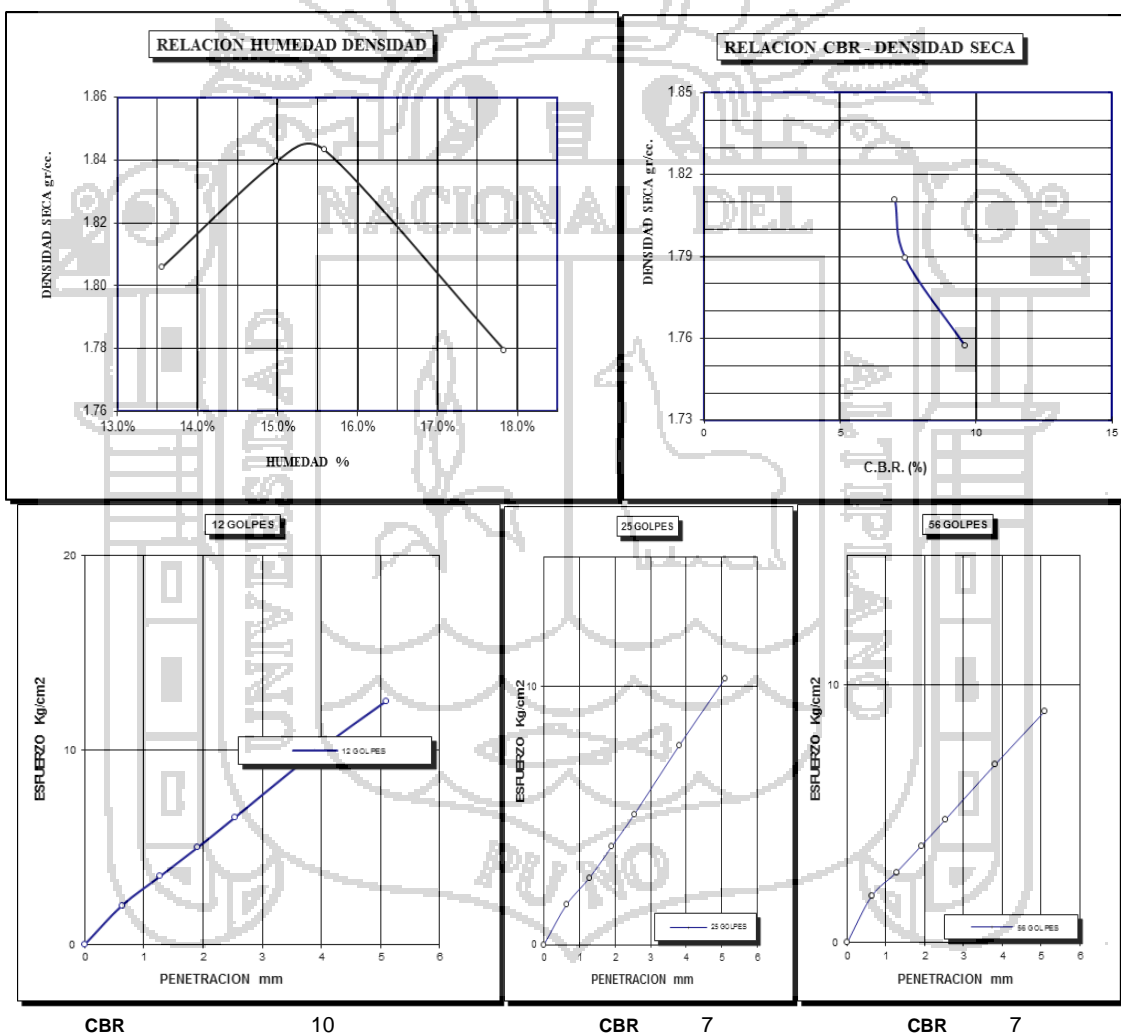
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |                          |       |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | Λ (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 1.85 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 15.42 |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 7   | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 9.9   |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

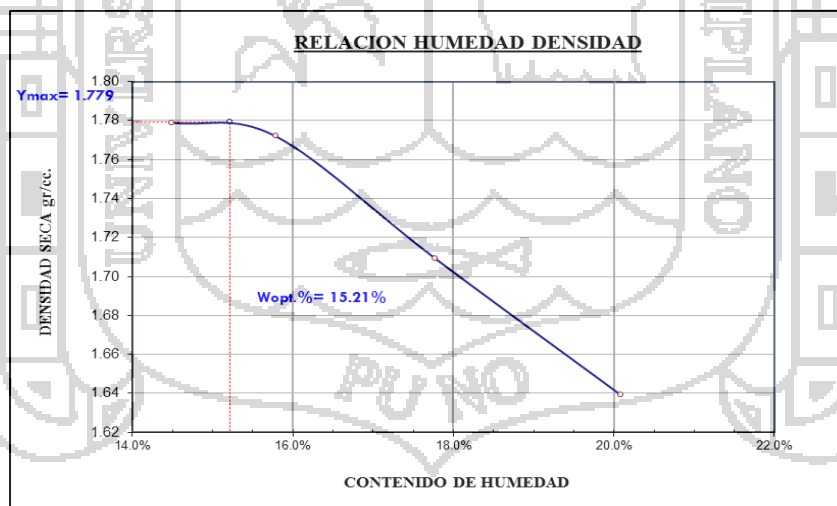
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |  |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |  |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |  |  |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |  |  |
| METODO DE COMPACTACION               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |  |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10566   | 10598   | 10515   | 10420   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4362    | 4394    | 4311    | 4216    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 2.04    | 2.05    | 2.01    | 1.97    |

|                               |     |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr. | 71.33  | 91.90  | 135.79 | 116.76 | 102.33 | 94.50  | 116.06 | 121.63 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 64.46  | 82.78  | 121.50 | 105.28 | 89.28  | 82.77  | 99.45  | 104.05 |
| Peso del Agua                 | gr. | 6.87   | 9.12   | 14.29  | 11.48  | 13.05  | 11.73  | 16.61  | 17.58  |
| Peso de la Capsula            | gr. | 17.33  | 19.48  | 31.40  | 32.23  | 16.28  | 16.42  | 16.66  | 16.59  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 47.13  | 63.30  | 90.10  | 73.05  | 73.00  | 66.35  | 82.79  | 87.46  |
| % de Humedad                  | %   | 14.58% | 14.41% | 15.86% | 15.72% | 17.88% | 17.68% | 20.06% | 20.10% |
| Promedio de Humedad           | %   | 14.49% |        | 15.79% |        | 17.78% |        | 20.08% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.779  |        | 1.772  |        | 1.709  |        | 1.639  |        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 1.78 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 15.21%     |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 11809   | 11307   | 11568   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7185    | 6601    | 6807    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4624    | 4706    | 4761    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2282.30 | 2294.35 | 2284.30 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.026   | 2.051   | 2.084   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 105.43 | 105.56 | 112.33 | 110.83 | 101.54 | 117.99 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 92.97  | 93.34  | 98.40  | 97.22  | 88.83  | 103.24 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 12.46  | 12.22  | 13.93  | 13.61  | 12.71  | 14.75  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 22.17  | 21.58  | 22.20  | 21.44  | 16.09  | 21.67  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 70.80  | 71.76  | 76.20  | 75.78  | 72.74  | 81.57  |
| % de Humedad                  | %      | 17.60% | 17.03% | 18.28% | 17.96% | 17.47% | 18.08% |
| Promedio de Humedad           | %      | 17.31% |        | 18.12% |        | 17.78% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.727  |        | 1.736  |        | 1.770  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial | Expansión |      | Dial  | Expansión |      | Dial  | Expansión |      |
|------------|------------|--------|------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|
|            |            |        |      | mm        | %    |       | mm        | %    |       | mm        | %    |
| 25/03/2014 | 12:26 p.m. | 0 h.   | 7.40 | 0         | 0    | 30.32 | 0         | 0    | 14.32 | 0         | 0    |
| 29/03/2014 | 12:26 p.m. | 96 h.  | 9.15 | 1.75      | 1.39 | 32.7  | 2.38      | 1.89 | 17.25 | 2.93      | 2.33 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |       |        |         | MOLDE No 3 |       |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|-------|--------|---------|------------|-------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.53       | 54.0  | 2.7    |         | 0.38       | 38.7  | 1.96   |         | 0.53       | 54.0  | 2.7    |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 0.95       | 96.8  | 4.9    |         | 0.64       | 65.2  | 3.30   |         | 0.80       | 81.6  | 4.1    |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 1.43       | 145.8 | 7.4    |         | 0.93       | 94.8  | 4.79   |         | 1.07       | 109.1 | 5.5    |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 1.88       | 191.6 | 9.7    |         | 1.24       | 126.4 | 6.39   |         | 1.34       | 136.6 | 6.9    |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 2.78       | 283.4 | 14.3   |         | 1.88       | 191.6 | 9.69   |         | 1.74       | 177.4 | 9.0    |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 3.52       | 358.8 | 18.1   |         | 2.50       | 254.9 | 12.88  |         | 2.12       | 216.1 | 10.9   |         |



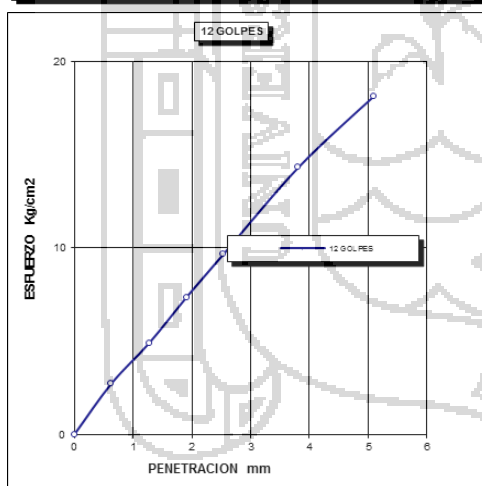
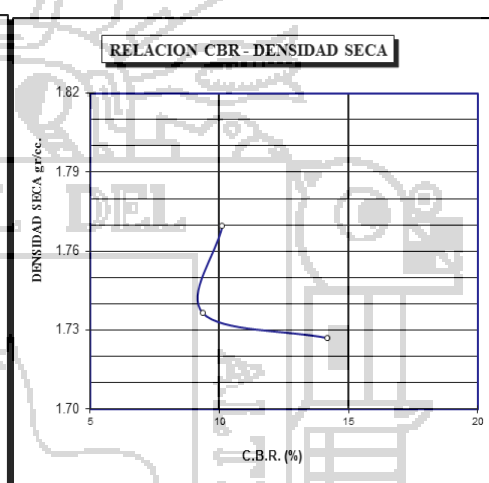
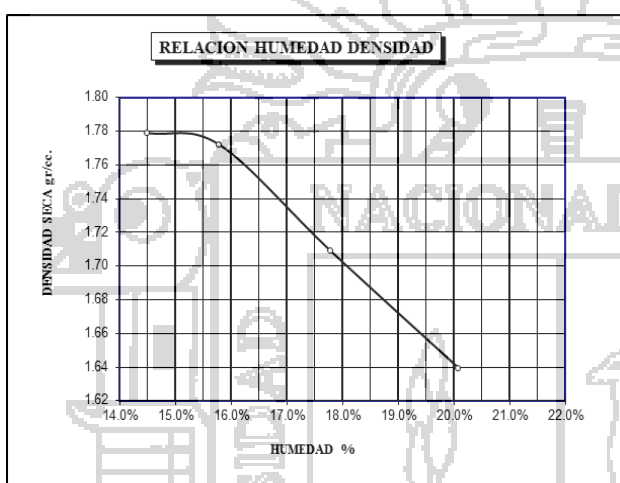
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



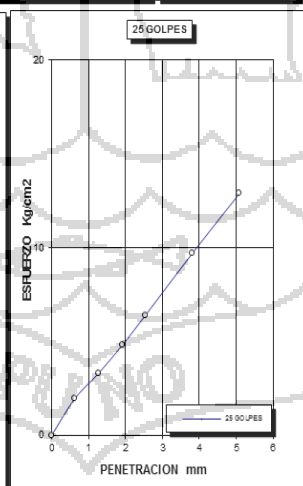
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

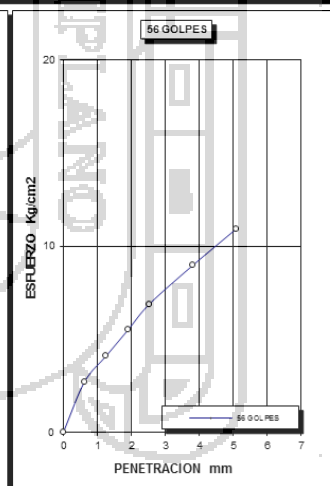
|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | CUNTUR WASI   |                          |       |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 1.78 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 15.21 |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 10  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 34    |



CBR 14



CBR 9



CBR 10





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



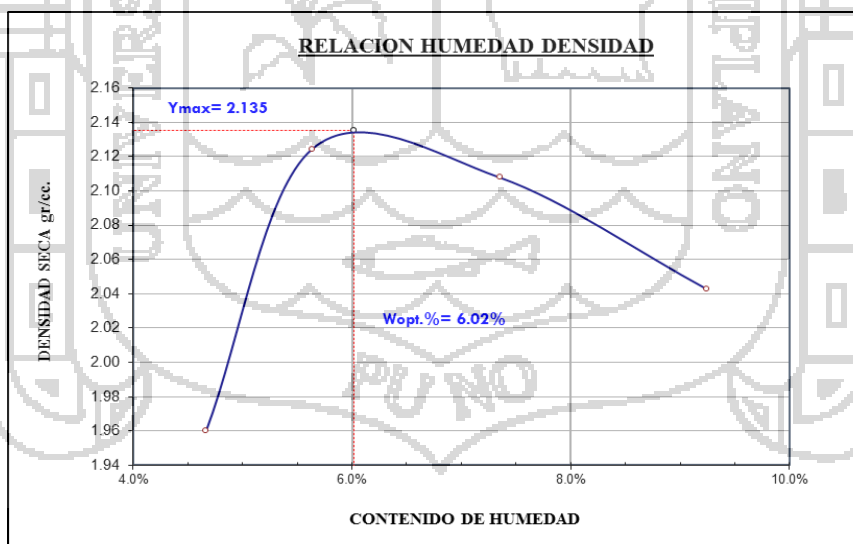
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | SALCEDO   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACION               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10598   | 11010   | 11050   | 10983   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4394    | 4806    | 4846    | 4779    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 2.05    | 2.24    | 2.26    | 2.23    |

| Capsula No                     | No  | 1     | 2      | 3     | 4     | 5      | 6     | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 78.91 | 101.45 | 84.74 | 88.45 | 117.83 | 92.33 | 131.88 | 138.67 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 76.39 | 97.67  | 81.22 | 84.81 | 111.29 | 87.32 | 122.48 | 128.94 |
| Peso del Agua                  | gr. | 2.52  | 3.78   | 3.52  | 3.64  | 6.54   | 5.01  | 9.40   | 9.73   |
| Peso de la Capsula             | gr. | 22.22 | 16.96  | 17.06 | 21.86 | 22.12  | 19.31 | 22.14  | 22.30  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 54.17 | 80.71  | 64.16 | 62.95 | 89.17  | 68.01 | 100.34 | 106.64 |
| % de Humedad                   | %   | 4.65% | 4.68%  | 5.49% | 5.78% | 7.33%  | 7.37% | 9.37%  | 9.12%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 4.67% |        | 5.63% |       | 7.35%  |       | 9.25%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.960 |        | 2.124 |       | 2.108  |       | 2.043  |        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 2.14 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 6.02%      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | SALCEDO   |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 11328   | 12209   | 13284   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6699    | 7287    | 8106    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4629    | 4922    | 5178    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2313.83 | 2283.54 | 2283.56 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.001   | 2.155   | 2.268   |

|                               |        |        |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 105.47 | 95.98 | 89.77 | 92.95 | 70.96 | 87.77 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 99.79  | 91.18 | 85.04 | 87.92 | 67.46 | 83.11 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 5.68   | 4.80  | 4.73  | 5.03  | 3.50  | 4.66  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 16.08  | 22.02 | 16.27 | 15.98 | 16.32 | 16.21 |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 83.71  | 69.16 | 68.77 | 71.94 | 51.14 | 66.90 |
| % de Humedad                  | %      | 6.79%  | 6.94% | 6.88% | 6.99% | 6.84% | 6.97% |
| Promedio de Humedad           | %      | 6.86%  |       | 6.93% |       | 6.90% |       |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.872  |       | 2.016 |       | 2.121 |       |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |       | Dial   | Expansión |      | Dial   | Expansión |      |
|------------|------------|--------|-------|-----------|-------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|
|            |            |        |       | mm        | %     |        | mm        | %    |        | mm        | %    |
| 20/02/2014 | 12:12 p.m. | 0 h.   | 7.985 | 0         | 0     | 23.1   | 0         | 0    | 18.105 | 0         | 0    |
| 24/02/2014 | 12:12 p.m. | 96 h.  | 7.869 | -0.116    | -0.09 | 23.952 | 0.852     | 0.68 | 18.119 | 0.014     | 0.01 |

**PENETRACIÓN**

| Penetracion mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |      |        |         | MOLDE No 2 |       |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|------|--------|---------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg   | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.22       | 22.4 | 1.1    |         | 1.93       | 196.7 | 9.95   |         | 5.20       | 530.1  | 26.8   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 0.29       | 29.6 | 1.5    |         | 3.05       | 310.9 | 15.72  |         | 9.55       | 973.5  | 49.2   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 0.36       | 36.7 | 1.9    |         | 3.89       | 396.5 | 20.04  |         | 12.50      | 1274.3 | 64.4   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 0.42       | 42.8 | 2.2    |         | 4.55       | 463.8 | 23.45  |         | 14.70      | 1498.5 | 75.7   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 0.55       | 56.1 | 2.8    |         | 5.56       | 566.8 | 28.65  |         | 18.02      | 1837.0 | 92.9   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 0.67       | 68.3 | 3.5    |         | 6.33       | 645.3 | 32.62  |         | 19.67      | 2005.2 | 101.4  |         |



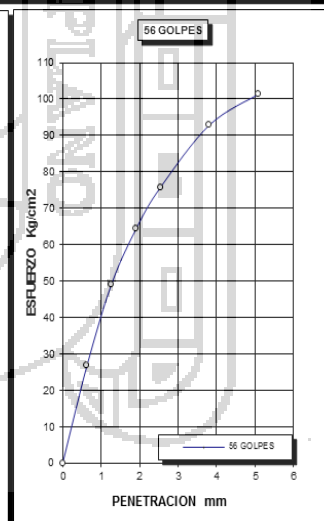
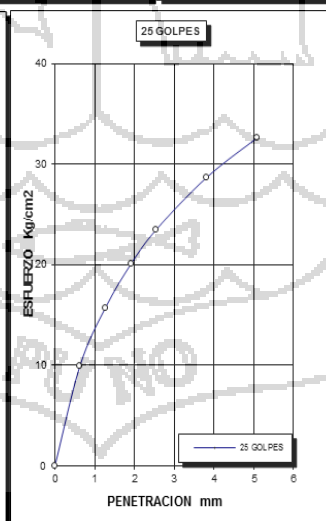
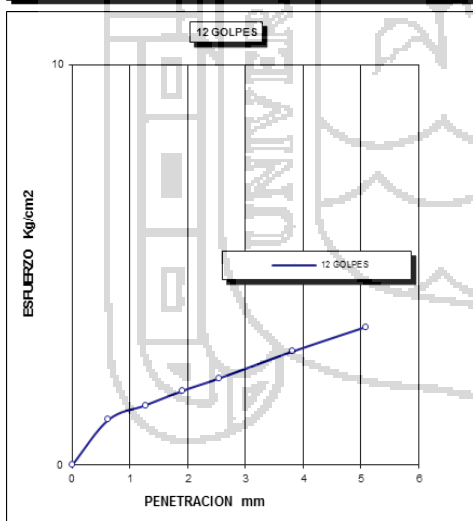
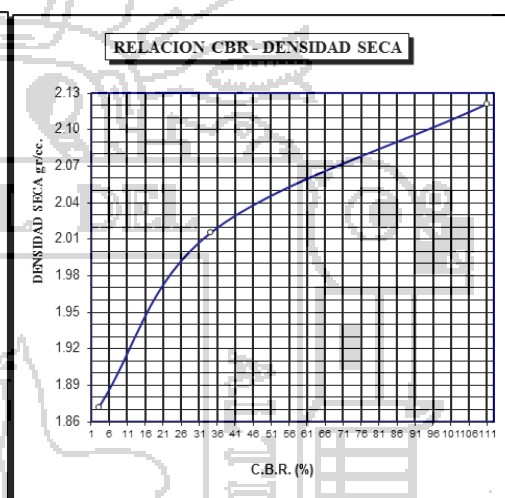
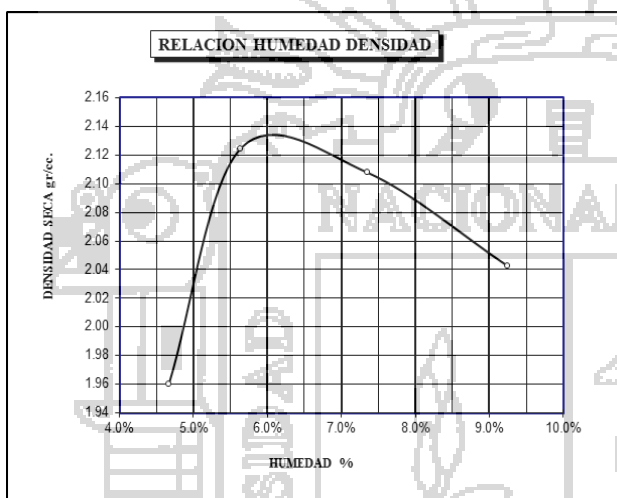
# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | SALCEDO   |                          |       |
| 0% DE PVC REF. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.14 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 6.02% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 111   | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 43    |



CBR 3

CBR 34

CBR 111



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



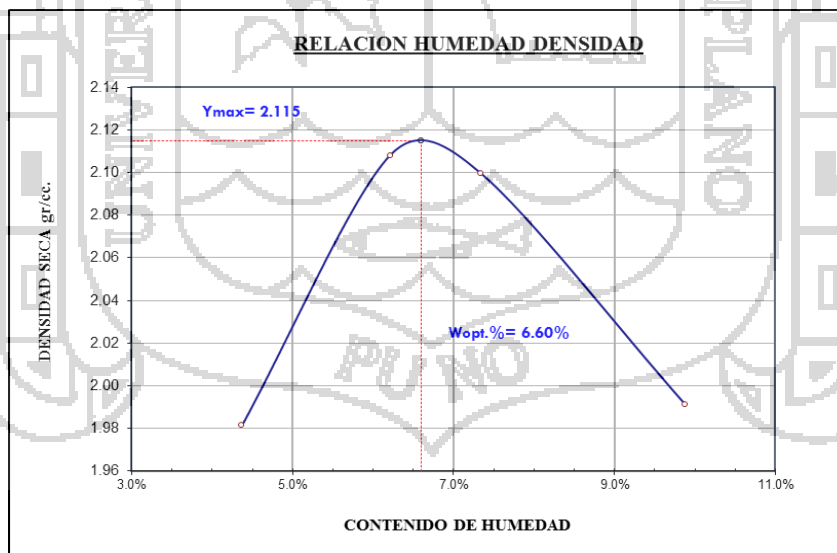
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | SALCEDO   |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACION               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |

|                                  |        |         |         |         |         |
|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>         | cm3    | 2097.79 | 2097.79 | 2097.79 | 2097.79 |
| <b>Peso Suelo Húmedo + Molde</b> | gr.    | 10203   | 10562   | 10593   | 10455   |
| <b>Peso del Molde</b>            | gr.    | 5865    | 5865    | 5865    | 5865    |
| <b>Peso del Suelo Húmedo</b>     | gr/cc. | 4338    | 4697    | 4728    | 4590    |
| <b>Densidad del Suelo Húmedo</b> | gr/cc  | 2.07    | 2.24    | 2.25    | 2.19    |

|                                      |     |       |       |       |       |        |        |        |        |
|--------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Capsula No</b>                    | No  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      |
| <b>Suelo Húmedo + Capsula</b>        | gr. | 87.63 | 98.64 | 94.74 | 94.72 | 127.28 | 109.85 | 136.96 | 130.38 |
| <b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b> | gr. | 84.60 | 95.50 | 90.40 | 90.38 | 120.05 | 103.88 | 126.52 | 120.63 |
| <b>Peso de la Capsula</b>            | gr. | 3.03  | 3.14  | 4.34  | 4.34  | 7.23   | 5.97   | 10.44  | 9.75   |
| <b>Peso del Suelo Seco</b>           | gr. | 16.59 | 22.18 | 19.49 | 21.48 | 22.36  | 21.78  | 21.68  | 21.08  |
| <b>% de Humedad</b>                  | %   | 4.46% | 4.28% | 6.12% | 6.30% | 7.40%  | 7.27%  | 9.96%  | 9.79%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>           | %   | 4.37% |       | 6.21% |       | 7.34%  |        | 9.88%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b>       | %   | 1.981 |       | 2.108 |       | 2.100  |        | 1.991  |        |

|                             |   |                   |
|-----------------------------|---|-------------------|
| <b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b> | : | <b>2.12 gr/cc</b> |
| <b>HUMEDAD OPTIMA</b>       | : | <b>6.60%</b>      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | SALCEDO   |  |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 11846   | 11556   | 11988   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7184    | 6601    | 6806    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4662    | 4955    | 5182    |
| Volúmen del Suelo         | cc.    | 2282.30 | 2294.35 | 2284.30 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.043   | 2.160   | 2.269   |

|                               |        |       |        |        |        |       |        |
|-------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1     | 2      | 3      | 4      | 5     | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 95.51 | 106.69 | 101.53 | 105.63 | 98.07 | 100.66 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 90.73 | 101.17 | 96.20  | 100.50 | 95.82 | 95.58  |
| Peso del Agua                 | gr.    | 4.78  | 5.52   | 5.33   | 5.13   | 2.25  | 5.08   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 19.58 | 19.51  | 19.04  | 22.10  | 16.79 | 22.02  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 71.15 | 81.66  | 77.16  | 78.40  | 79.03 | 73.56  |
| % de Humedad                  | %      | 6.72% | 6.76%  | 6.91%  | 6.54%  | 2.85% | 6.91%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 6.74% |        | 6.73%  |        | 4.88% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.914 |        | 2.024  |        | 2.163 |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial   | Expansión |      | Dial  | Expansión |      | Dial  | Expansión |       |
|------------|------------|--------|--------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|-------|
|            |            |        |        | mm        | %    |       | mm        | %    |       | mm        | %     |
| 11/03/2014 | 12:30 p.m. | 0 h.   | 17.49  | 0         | 0    | 9.18  | 0         | 0    | 13.99 | 0         | 0     |
| 15/03/2014 | 12:30 p.m. | 96 h.  | 18.051 | 0.561     | 0.45 | 9.251 | 0.071     | 0.06 | 13.98 | -0.01     | -0.01 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.17       | 119.3 | 6.0    |         | 1.76       | 179.4  | 9.07   |         | 2.59       | 264.0  | 13.3   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 1.90       | 193.7 | 9.8    |         | 3.89       | 396.5  | 20.04  |         | 6.81       | 694.2  | 35.1   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 2.35       | 239.6 | 12.1   |         | 5.67       | 578.0  | 29.22  |         | 12.29      | 1252.8 | 63.3   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 2.65       | 270.1 | 13.7   |         | 7.18       | 731.9  | 37.00  |         | 17.53      | 1787.0 | 90.3   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 3.07       | 313.0 | 15.8   |         | 9.81       | 1000.0 | 50.55  |         | 27.62      | 2815.6 | 142.3  |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 3.39       | 345.6 | 17.5   |         | 11.56      | 1178.4 | 59.57  |         | 33.56      | 3421.1 | 172.9  |         |



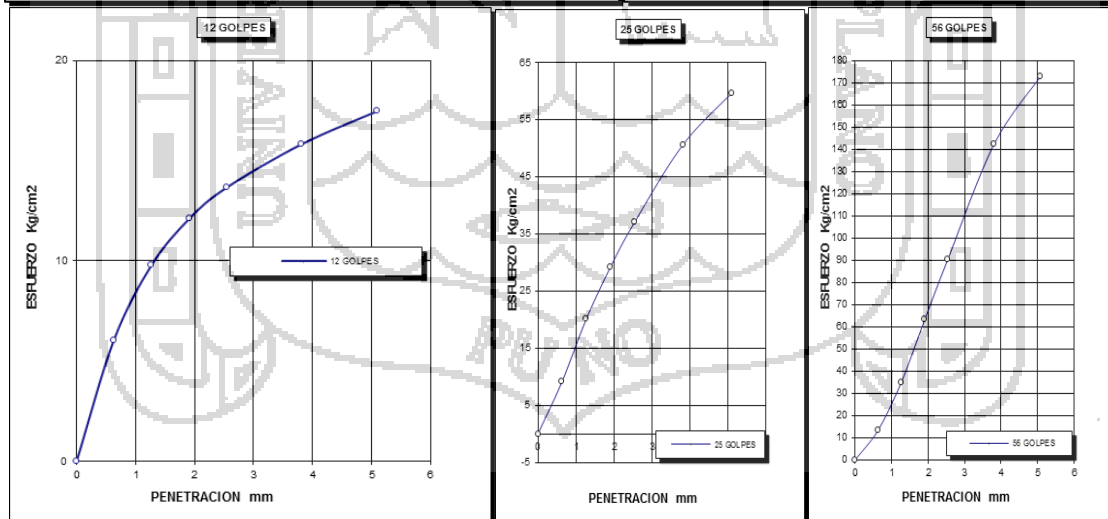
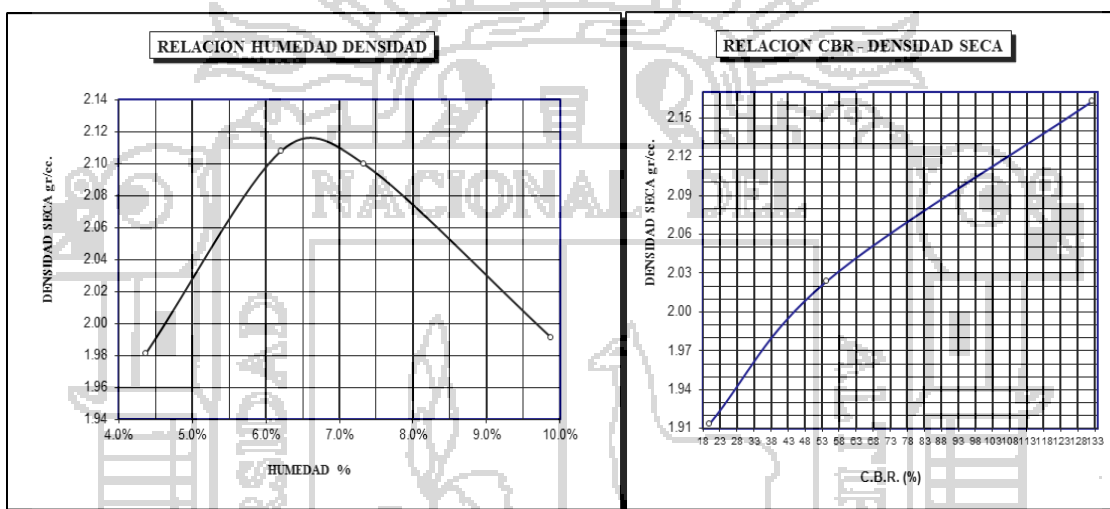
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | SALCEDO   |                          |       |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | Λ (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.12 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 6.60% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 132   | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 50    |



CBR 20

CBR 54

CBR 132



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



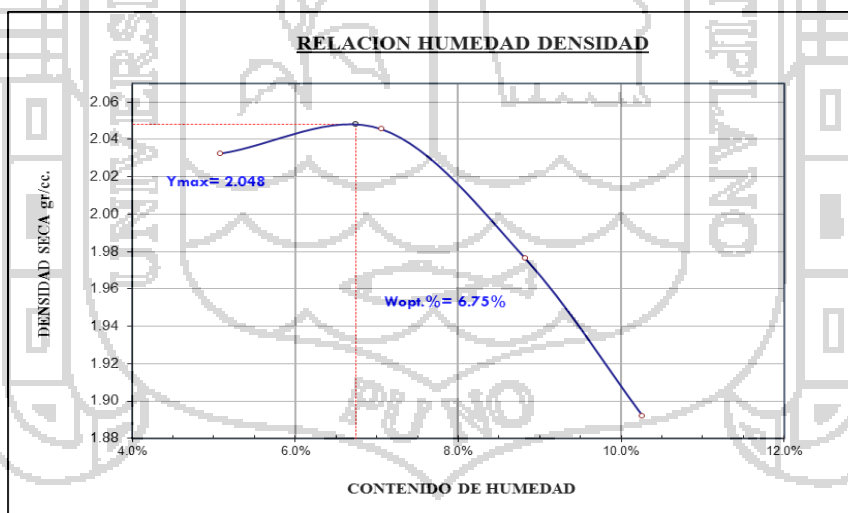
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |  |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |  |
| CANTERA                              | SALCEDO   |  |  |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DEL 2014  |  |  |
| METODO DE COMPACTACION               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |  |

|                               |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE             | cm3    | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 | 2141.69 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde     | gr.    | 10778   | 10894   | 10810   | 10810   | 10810   | 10810   | 10810   | 10810   |
| Peso del Molde                | gr.    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    | 6204    |
| Peso del Suelo Húmedo         | gr/cc. | 4574    | 4690    | 4606    | 4606    | 4606    | 4606    | 4606    | 4606    |
| Densidad del Suelo Húmedo     | gr/cc  | 2.14    | 2.19    | 2.15    | 2.15    | 2.15    | 2.15    | 2.15    | 2.15    |
| Capsula No                    | No     | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 87.98   | 83.98   | 129.00  | 117.80  | 118.78  | 121.92  | 116.74  | 142.74  |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 84.57   | 80.93   | 122.08  | 111.09  | 110.75  | 113.22  | 107.50  | 131.16  |
| Peso del Agua                 | gr.    | 3.41    | 3.05    | 6.92    | 6.71    | 8.03    | 8.70    | 9.24    | 11.58   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 16.94   | 21.35   | 22.16   | 17.78   | 18.84   | 15.56   | 16.91   | 18.99   |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 67.63   | 59.58   | 99.92   | 93.31   | 91.91   | 97.66   | 90.59   | 112.17  |
| % de Humedad                  | %      | 5.04%   | 5.12%   | 6.93%   | 7.19%   | 8.74%   | 8.91%   | 10.20%  | 10.32%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 5.08%   |         | 7.06%   |         | 8.82%   |         | 10.26%  |         |
| Densidad del Suelo Seco       | %      | 2.032   |         | 2.045   |         | 1.976   |         | 1.892   |         |

|                      |   |            |
|----------------------|---|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA | : | 2.05 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA       | : | 6.75%      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | SALCEDO   |  |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 11469   | 11586   | 12935   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6862    | 6698    | 7788    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4607    | 4888    | 5147    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2269.50 | 2295.62 | 2296.60 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.030   | 2.129   | 2.241   |

|                               |        |       |        |       |       |       |       |
|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Capsula No                    | No     | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 89.83 | 106.21 | 84.97 | 90.94 | 86.86 | 95.79 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 84.68 | 100.42 | 80.23 | 86.05 | 81.96 | 90.47 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 5.15  | 5.79   | 4.74  | 4.89  | 4.90  | 5.32  |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 13.89 | 14.05  | 13.44 | 14.05 | 13.07 | 12.95 |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 70.79 | 86.37  | 66.79 | 72.00 | 68.89 | 77.52 |
| % de Humedad                  | %      | 7.28% | 6.70%  | 7.10% | 6.79% | 7.11% | 6.86% |
| Promedio de Humedad           | %      | 6.99% |        | 6.94% |       | 6.99% |       |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.897 |        | 1.991 |       | 2.095 |       |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial   | Expansión |   | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       |
|------------|------------|--------|--------|-----------|---|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|            |            |        |        | mm        | % |        | mm        | %     |        | mm        | %     |
| 20/02/2014 | 12:18 p.m. | 0 h.   | 16.651 | 0         | 0 | 16.581 | 0         | 0     | 13.631 | 0         | 0     |
| 24/02/2014 | 12:18 p.m. | 96 h.  | 16.651 | 0         | 0 | 16.36  | -0.22     | -0.18 | 13.579 | -0.05     | -0.04 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.88       | 89.7  | 4.5    |         | 2.47       | 251.8  | 12.73  |         | 2.17       | 221.2  | 11.2   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 1.29       | 131.5 | 6.6    |         | 4.31       | 439.4  | 22.21  |         | 5.96       | 607.6  | 30.7   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 1.61       | 164.1 | 8.3    |         | 5.91       | 602.5  | 30.45  |         | 11.23      | 1144.8 | 57.9   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 1.96       | 199.8 | 10.1   |         | 7.30       | 744.2  | 37.62  |         | 16.85      | 1717.7 | 86.8   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 2.20       | 224.3 | 11.3   |         | 8.86       | 903.2  | 45.65  |         | 21.57      | 2198.8 | 111.1  |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 2.49       | 253.8 | 12.8   |         | 9.99       | 1018.4 | 51.48  |         | 24.15      | 2461.9 | 124.4  |         |





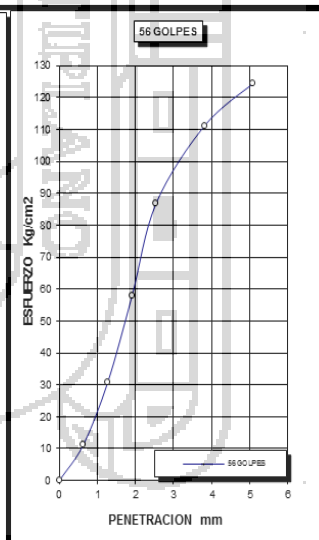
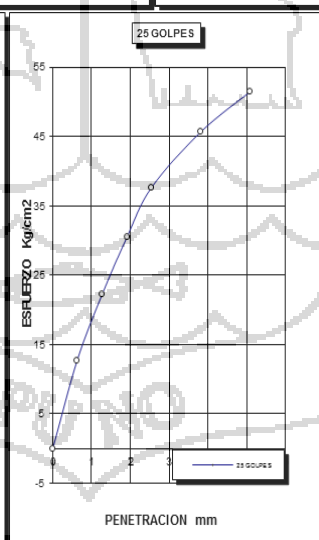
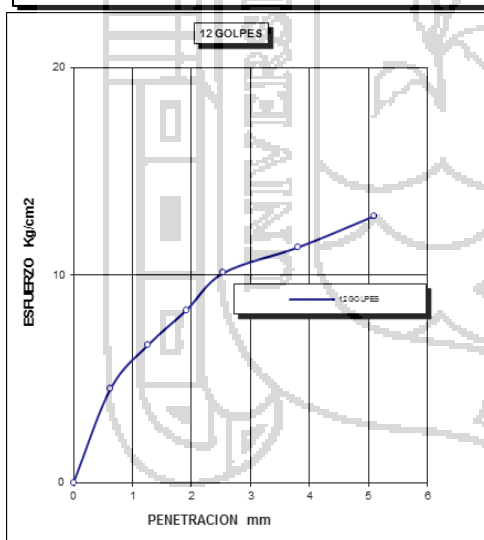
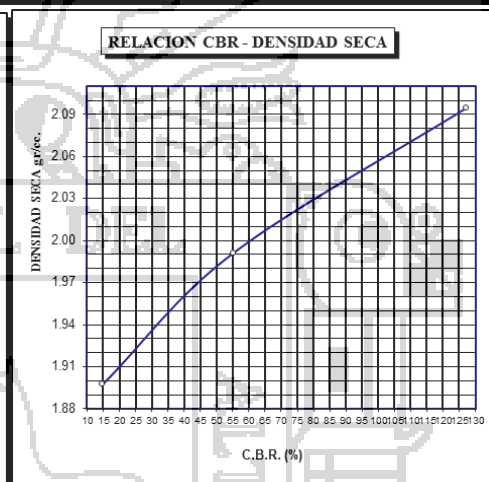
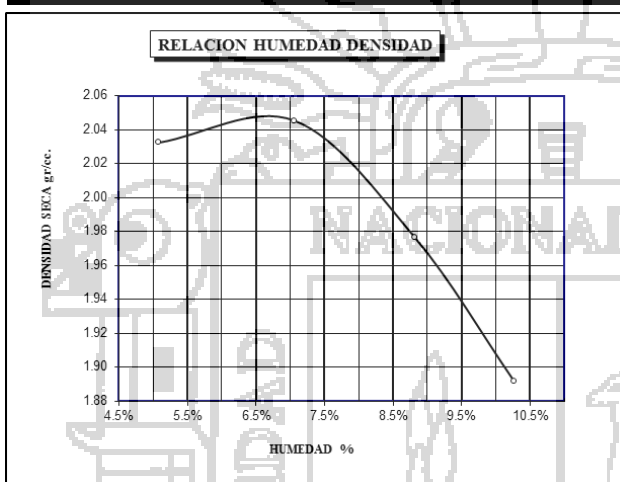
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | SALCEDO   |                          |       |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | FEBRERO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.05 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 6.75% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 127   | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 36    |



CBR

15

CBR

55

CBR

127



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



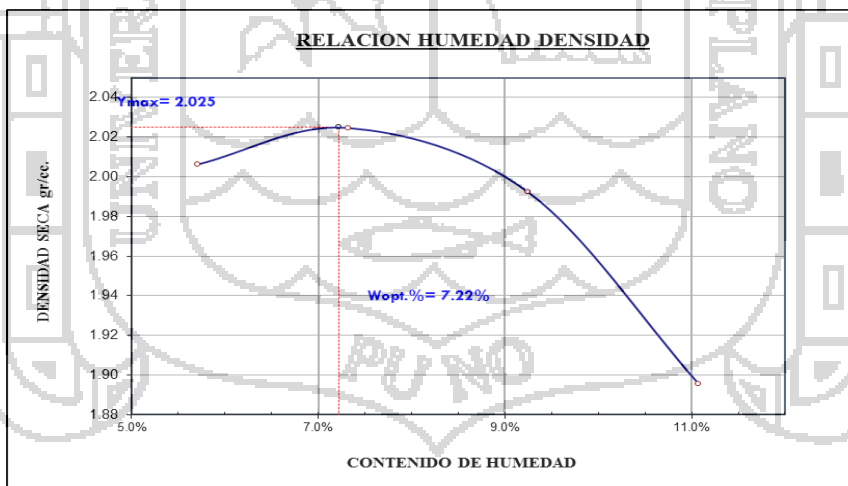
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | SALCEDO   |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACION               | A (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |

|                                  |        |         |         |         |         |
|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| <b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>         | cm3    | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 |
| <b>Peso Suelo Húmedo + Molde</b> | gr.    | 10500   | 10611   | 10619   | 10468   |
| <b>Peso del Molde</b>            | gr.    | 5998    | 5998    | 5998    | 5998    |
| <b>Peso del Suelo Húmedo</b>     | gr/cc. | 4502    | 4613    | 4621    | 4470    |
| <b>Densidad del Suelo Húmedo</b> | gr/cc  | 2.12    | 2.17    | 2.18    | 2.11    |

|                                      |           |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Capsula No</b>                    | <b>No</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> |
| <b>Suelo Húmedo + Capsula</b>        | gr.       | 94.03    | 102.06   | 107.30   | 118.15   | 130.18   | 125.72   | 144.60   | 145.08   |
| <b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b> | gr.       | 89.81    | 97.43    | 101.04   | 111.66   | 120.96   | 116.81   | 132.11   | 132.58   |
| <b>Peso del Agua</b>                 | gr.       | 4.22     | 4.63     | 6.26     | 6.49     | 9.22     | 8.91     | 12.49    | 12.50    |
| <b>Peso de la Capsula</b>            | gr.       | 15.79    | 16.27    | 16.29    | 22.21    | 22.10    | 19.51    | 19.48    | 19.54    |
| <b>Peso del Suelo Seco</b>           | gr.       | 74.02    | 81.16    | 84.75    | 89.45    | 98.86    | 97.30    | 112.63   | 113.04   |
| <b>% de Humedad</b>                  | %         | 5.70%    | 5.70%    | 7.39%    | 7.26%    | 9.33%    | 9.16%    | 11.09%   | 11.06%   |
| <b>Promedio de Humedad</b>           | %         | 5.70%    |          | 7.32%    |          | 9.24%    |          | 11.07%   |          |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b>       | %         | 2.006    |          | 2.025    |          | 1.993    |          | 1.896    |          |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 2.03 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 7.22%      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | SALCEDO   |  |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12413   | 11683   | 13065   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7763    | 6923    | 8116    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4650    | 4760    | 4949    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2298.61 | 2277.36 | 2281.48 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.023   | 2.090   | 2.169   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 106.71 | 113.13 | 112.88 | 116.55 | 106.89 | 108.53 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 100.99 | 107.19 | 106.95 | 110.46 | 101.11 | 102.82 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 5.72   | 5.94   | 5.93   | 6.09   | 5.78   | 5.71   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 19.51  | 22.35  | 21.21  | 21.90  | 17.79  | 19.49  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 81.48  | 84.84  | 85.74  | 88.56  | 83.32  | 83.33  |
| % de Humedad                  | %      | 7.02%  | 7.00%  | 6.92%  | 6.88%  | 6.94%  | 6.85%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 7.01%  |        | 6.90%  |        | 6.89%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.890  |        | 1.955  |        | 2.029  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       |
|------------|------------|--------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|            |            |        |        | mm        | %     |        | mm        | %     |        | mm        | %     |
| 07/04/2014 | 12:00 p.m. | 0 h.   | 17.5   | 0         | 0     | 19.785 | 0         | 0     | 16.101 | 0         | 0     |
| 11/04/2014 | 12:00 p.m. | 96 h.  | 17.425 | -0.075    | -0.06 | 19.565 | -0.22     | -0.18 | 16.051 | -0.05     | -0.04 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |       |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg    | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 0.93       | 94.8  | 4.8    |         | 3.40       | 346.6  | 17.52  |         | 3.20       | 326.2  | 16.5   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 1.83       | 186.6 | 9.4    |         | 5.81       | 592.3  | 29.94  |         | 7.23       | 737.0  | 37.3   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 2.79       | 284.4 | 14.4   |         | 8.89       | 906.2  | 45.81  |         | 11.86      | 1209.0 | 61.1   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 3.71       | 378.2 | 19.1   |         | 12.60      | 1284.4 | 64.93  |         | 18.24      | 1859.4 | 94.0   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 5.28       | 538.2 | 27.2   |         | 16.06      | 1637.2 | 82.76  |         | 25.59      | 2608.6 | 131.9  |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 6.53       | 665.7 | 33.6   |         | 18.43      | 1878.8 | 94.97  |         | 31.65      | 3226.4 | 163.1  |         |



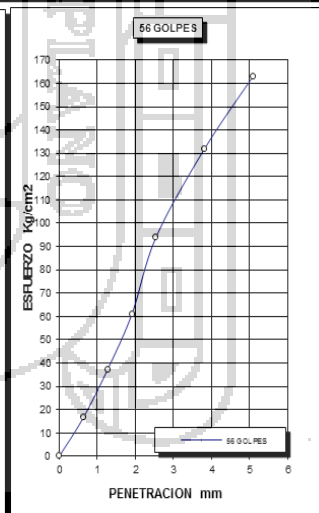
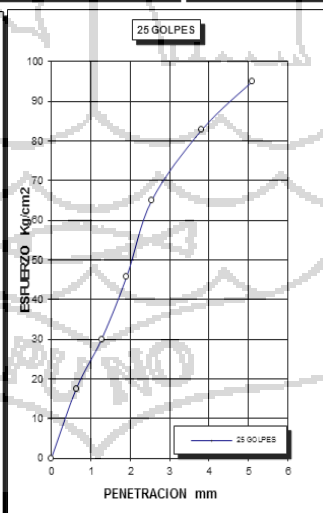
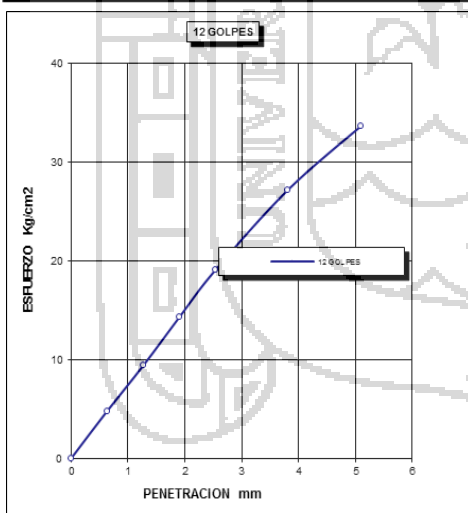
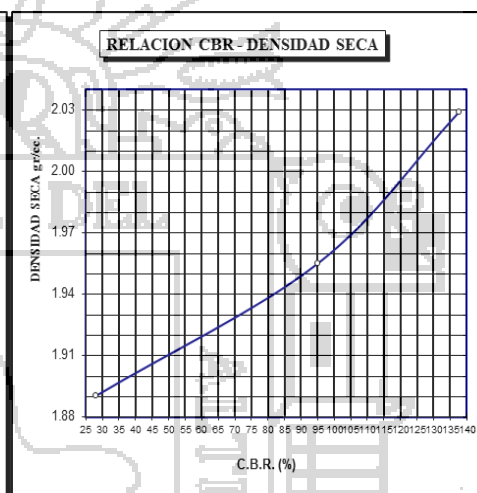
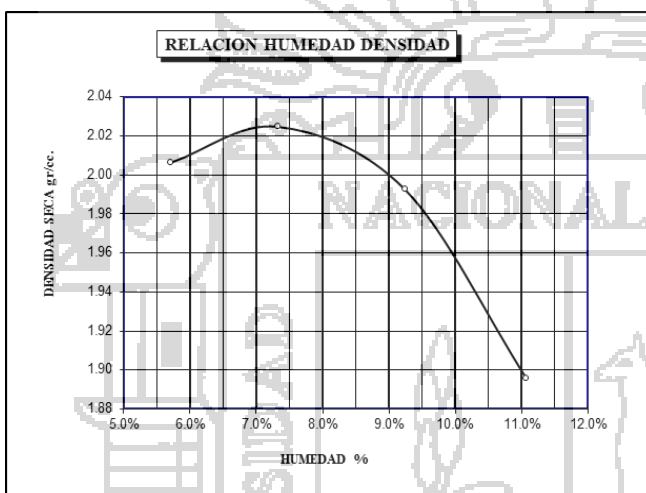
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | SALCEDO   |                          |       |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | A (usado material pasante tamiz N° 4)   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.03 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 7.22% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 138   | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 63    |



CBR 28

CBR 95

CBR 138



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

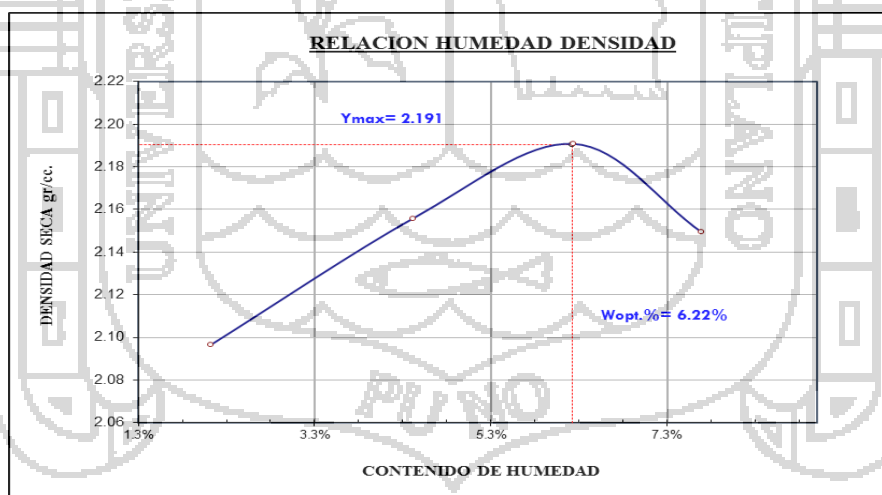
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |  |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |  |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |  |  |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DEL 2014  |  |  |
| METODO DE COMPACTACION               | C (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |  |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10550   | 10784   | 10946   | 10919   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6005    | 6005    | 6005    | 6005    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4545    | 4779    | 4941    | 4914    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 2.14    | 2.25    | 2.33    | 2.31    |

| Capsula No                     | No  | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 124.08 | 118.78 | 103.57 | 93.20 | 103.99 | 121.10 | 129.26 | 133.65 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 122.10 | 116.50 | 100.13 | 89.89 | 97.94  | 116.28 | 121.29 | 126.02 |
| Peso del Agua                  | gr. | 1.98   | 2.28   | 3.44   | 3.31  | 6.05   | 4.82   | 7.97   | 7.63   |
| Peso de la Capsula             | gr. | 21.22  | 16.26  | 20.07  | 16.99 | 18.56  | 16.80  | 21.91  | 22.36  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 100.88 | 100.24 | 80.06  | 72.90 | 79.38  | 99.48  | 99.38  | 103.66 |
| % de Humedad                   | %   | 1.96%  | 2.27%  | 4.30%  | 4.54% | 7.62%  | 4.85%  | 8.02%  | 7.36%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 2.12%  |        | 4.42%  |       | 6.23%  |        | 7.69%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 2.096  |        | 2.156  |       | 2.191  |        | 2.149  |        |

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | <b>2.19 gr/cc</b> |
| HUMEDAD OPTIMA :       | <b>6.22%</b>      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO:         | MARZO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 11848   | 12376   | 12169   |
| Peso del Molde            | gr.    | 6699    | 7091    | 6807    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 5149    | 5285    | 5362    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2282.30 | 2294.35 | 2284.30 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.256   | 2.303   | 2.347   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 114.49 | 130.47 | 142.16 | 117.60 | 125.03 | 111.05 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 108.03 | 124.24 | 135.65 | 111.74 | 118.46 | 105.62 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 6.46   | 6.23   | 6.51   | 5.86   | 6.57   | 5.43   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 16.79  | 18.56  | 21.21  | 20.07  | 22.36  | 16.99  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 91.24  | 105.68 | 114.44 | 91.67  | 96.10  | 88.63  |
| % de Humedad                  | %      | 7.08%  | 5.90%  | 5.69%  | 6.39%  | 6.84%  | 6.13%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 6.49%  |        | 6.04%  |        | 6.48%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 2.119  |        | 2.172  |        | 2.204  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |      | Dial   | Expansión |      | Dial   | Expansión |      |
|------------|------------|--------|-------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|
|            |            |        |       | mm        | %    |        | mm        | %    |        | mm        | %    |
| 24/03/2014 | 10:50 a.m. | 0 h.   | 8.102 | 0         | 0    | 14.51  | 0         | 0    | 19.025 | 0         | 0    |
| 28/03/2014 | 10:51 p.m. | 96 h.  | 8.535 | 0.433     | 0.35 | 14.868 | 0.358     | 0.28 | 19.364 | 0.34      | 0.31 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |        |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.03       | 105.0  | 5.3    |         | 1.81       | 184.5  | 9.33   |         | 1.51       | 153.9  | 7.8    |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 2.13       | 217.1  | 11.0   |         | 3.05       | 310.9  | 15.72  |         | 2.54       | 258.9  | 13.1   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 3.46       | 352.7  | 17.8   |         | 4.93       | 502.6  | 25.40  |         | 4.15       | 423.1  | 21.4   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 5.00       | 509.7  | 25.8   |         | 7.65       | 779.8  | 39.42  |         | 6.55       | 667.7  | 33.8   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 7.79       | 794.1  | 40.1   |         | 10.72      | 1092.8 | 55.24  |         | 10.11      | 1030.6 | 52.1   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 10.70      | 1090.8 | 55.1   |         | 14.08      | 1435.3 | 72.55  |         | 14.16      | 1443.5 | 73.0   |         |



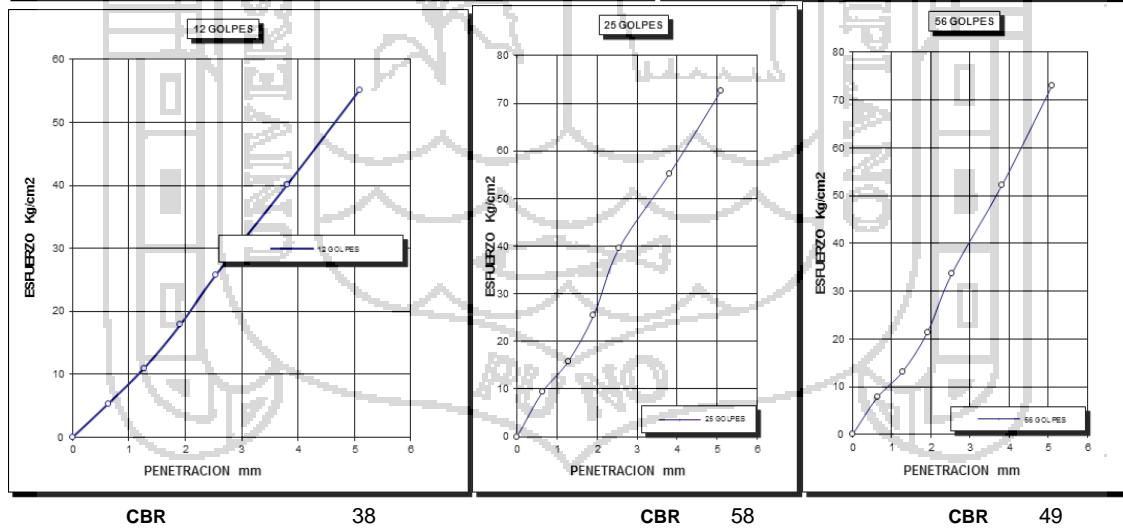
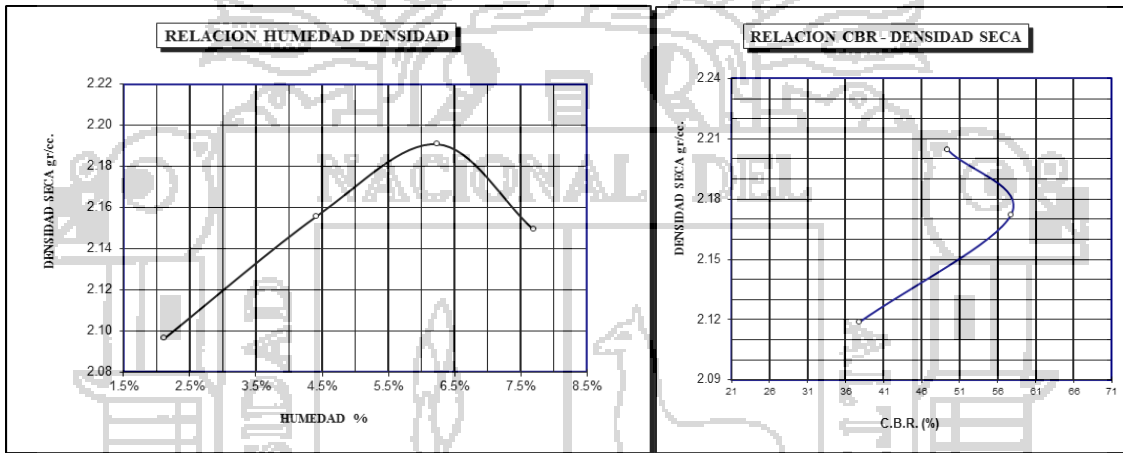
# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |                          |       |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 0   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DEL 2014  |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.19 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 6.22% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 49  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 23    |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

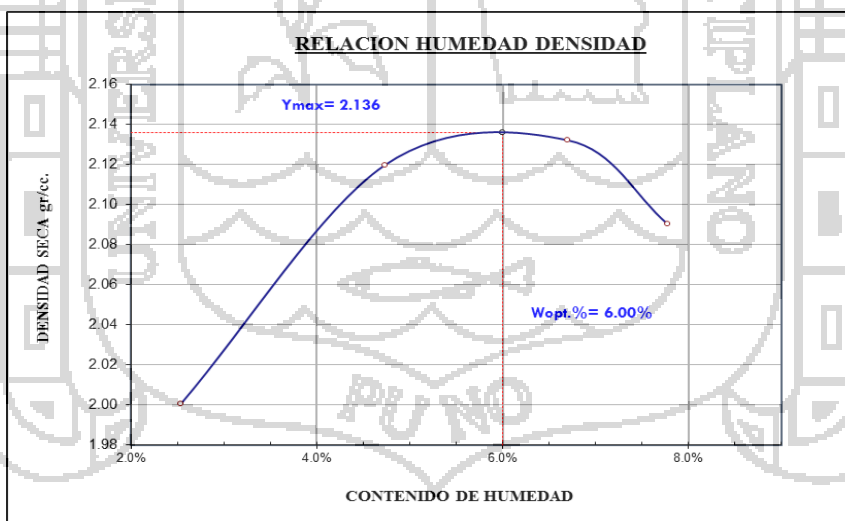
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DEL 2014  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |

|                           |                 |         |         |         |         |
|---------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm <sup>3</sup> | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.             | 10358   | 10716   | 10833   | 10786   |
| Peso del Molde            | gr.             | 6003    | 6003    | 6003    | 6003    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc.          | 4355    | 4713    | 4830    | 4783    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc           | 2.05    | 2.22    | 2.28    | 2.25    |

| Capsula No                     | No  | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 123.20 | 126.52 | 113.56 | 95.74 | 129.51 | 140.30 | 141.76 | 137.53 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 120.23 | 124.25 | 109.56 | 91.92 | 121.94 | 133.60 | 132.77 | 129.54 |
| Peso del Agua                  | gr. | 2.97   | 2.27   | 4.00   | 3.82  | 7.57   | 6.70   | 8.99   | 7.99   |
| Peso de la Capsula             | gr. | 16.26  | 21.90  | 19.51  | 15.79 | 19.53  | 22.21  | 22.10  | 21.87  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 103.97 | 102.35 | 90.05  | 76.13 | 102.41 | 111.39 | 110.67 | 107.67 |
| % de Humedad                   | %   | 2.86%  | 2.22%  | 4.44%  | 5.02% | 7.39%  | 6.01%  | 8.12%  | 7.42%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 2.54%  |        | 4.73%  |       | 6.70%  |        | 7.77%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 2.001  |        | 2.120  |       | 2.132  |        | 2.090  |        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 2.14 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 6.00%      |







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | JALIHUAYA   |  |
| 0% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO:         | MARZO DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12754   | 12994   | 13111   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7805    | 7882    | 7925    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4949    | 5112    | 5186    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2284.33 | 2269.32 | 2271.31 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.167   | 2.253   | 2.283   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 142.25 | 125.01 | 126.14 | 132.54 | 125.43 | 136.21 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 135.86 | 118.95 | 120.03 | 125.30 | 120.10 | 130.24 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 6.39   | 6.06   | 6.11   | 7.24   | 5.33   | 5.97   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 22.22  | 19.51  | 16.26  | 15.79  | 21.91  | 22.11  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 113.64 | 99.44  | 103.77 | 109.51 | 98.19  | 108.13 |
| % de Humedad                  | %      | 5.62%  | 6.09%  | 5.89%  | 6.61%  | 5.43%  | 5.52%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 5.86%  |        | 6.25%  |        | 5.47%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 2.047  |        | 2.120  |        | 2.165  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |       | Dial  | Expansión |       | Dial   | Expansión |       |
|------------|------------|--------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|            |            |        |       | mm        | %     |       | mm        | %     |        | mm        | %     |
| 28/03/2014 | 11:27 p.m. | 0 h.   | 13.94 | 0         | 0     | 8.971 | 0         | 0     | 18.13  | 0         | 0     |
| 01/04/2014 | 11:20 p.m. | 96 h.  | 13.88 | -0.06     | -0.05 | 8.922 | -0.05     | -0.04 | 18.116 | -0.01     | -0.01 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |        |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.44       | 146.8  | 7.4    |         | 2.54       | 258.9  | 13.09  |         | 2.09       | 213.1  | 10.8   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 2.87       | 292.6  | 14.8   |         | 4.56       | 464.8  | 23.50  |         | 4.23       | 431.2  | 21.8   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 4.78       | 487.3  | 24.6   |         | 7.80       | 795.1  | 40.19  |         | 6.86       | 699.3  | 35.3   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 6.79       | 692.2  | 35.0   |         | 12.07      | 1230.4 | 62.20  |         | 11.20      | 1141.7 | 57.7   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 9.65       | 983.7  | 49.7   |         | 17.72      | 1806.4 | 91.31  |         | 17.49      | 1782.9 | 90.1   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 12.14      | 1237.6 | 62.6   |         | 23.49      | 2394.6 | 121.04 |         | 23.24      | 2369.1 | 119.8  |         |



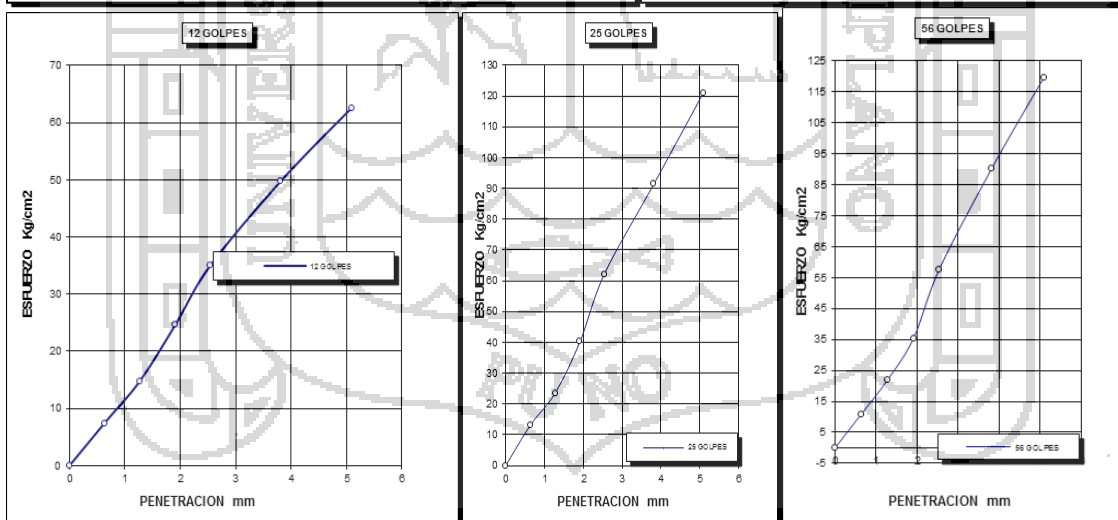
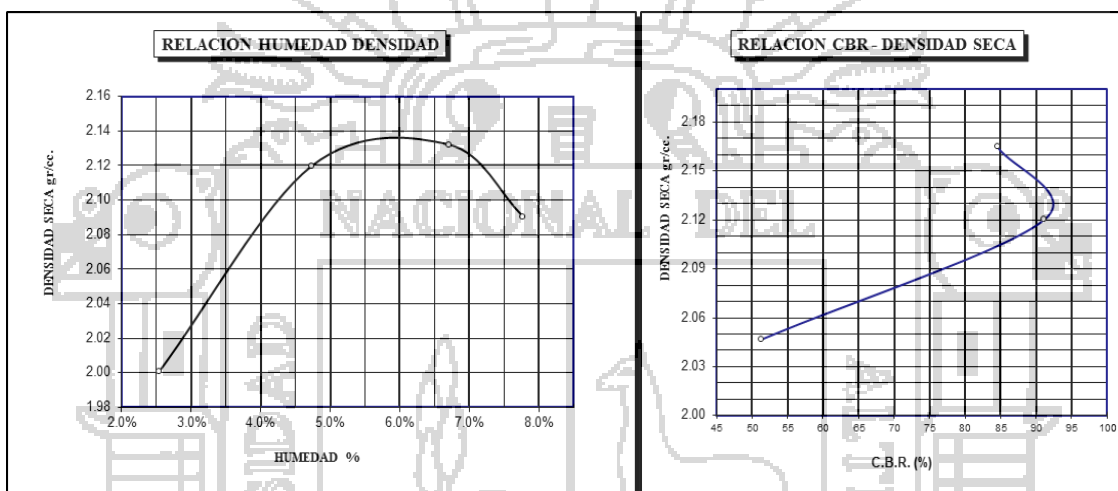
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |                          |       |
| 4% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 240   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | MARZO DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.14 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 6.00% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 85  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 41    |



CBR 51

CBR 91

CBR 85



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |  |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |  |
| CANTERA                              | JALIHUAYA   |  |  |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DEL 2014  |  |  |
| METODO DE COMPACTACION               | C (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |  |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10302   | 10548   | 10753   | 10743   |
| Peso del Molde            | gr.    | 5999    | 5999    | 5999    | 5999    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4303    | 4549    | 4754    | 4744    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 2.03    | 2.14    | 2.24    | 2.23    |

| Capsula No                    | No  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr. | 129.86 | 127.90 | 125.52 | 102.62 | 133.86 | 127.44 | 147.96 | 148.46 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 127.22 | 124.91 | 120.85 | 98.80  | 127.28 | 121.81 | 138.91 | 140.06 |
| Peso del Agua                 | gr. | 2.64   | 2.99   | 4.67   | 3.82   | 6.58   | 5.63   | 9.05   | 8.40   |
| Peso de la Capsula            | gr. | 22.01  | 22.35  | 19.52  | 17.79  | 19.49  | 19.50  | 21.21  | 21.90  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 105.21 | 102.56 | 101.33 | 81.01  | 107.79 | 102.31 | 117.70 | 118.16 |
| % de Humedad                  | %   | 2.51%  | 2.92%  | 4.61%  | 4.72%  | 6.10%  | 5.50%  | 7.69%  | 7.11%  |
| Promedio de Humedad           | %   | 2.71%  |        | 4.66%  |        | 5.80%  |        | 7.40%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.973  |        | 2.047  |        | 2.116  |        | 2.081  |        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA : | 2.12 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA :       | 5.93%      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |  |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12689   | 12925   | 13065   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7805    | 7883    | 7925    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4884    | 5042    | 5140    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2284.33 | 2269.32 | 2271.31 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.138   | 2.222   | 2.263   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 128.48 | 118.17 | 112.80 | 112.67 | 110.80 | 145.09 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 121.91 | 111.92 | 105.78 | 106.60 | 104.39 | 138.35 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 6.57   | 6.25   | 7.02   | 6.07   | 6.41   | 6.74   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 19.51  | 19.52  | 16.60  | 16.28  | 19.74  | 22.01  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 102.40 | 92.40  | 89.18  | 90.32  | 84.65  | 116.34 |
| % de Humedad                  | %      | 6.42%  | 6.76%  | 7.87%  | 6.72%  | 7.57%  | 5.79%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 6.59%  |        | 7.30%  |        | 6.68%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 2.006  |        | 2.071  |        | 2.121  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial  | Expansión |       | Dial   | Expansión |      | Dial   | Expansión |      |
|------------|------------|--------|-------|-----------|-------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|
|            |            |        |       | mm        | %     |        | mm        | %    |        | mm        | %    |
| 08/04/2014 | 12:17 p.m. | 0 h.   | 7.694 | 0         | 0     | 13.498 | 0         | 0    | 13.621 | 0         | 0    |
| 12/04/2014 | 12:17 p.m. | 96 h.  | 7.273 | -0.421    | -0.33 | 14.19  | 0.692     | 0.55 | 14.42  | 0.799     | 0.64 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |        |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.13       | 115.2  | 5.8    |         | 2.91       | 296.6  | 14.99  |         | 2.38       | 242.6  | 12.3   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 2.50       | 254.9  | 12.9   |         | 5.35       | 545.4  | 27.57  |         | 5.26       | 536.2  | 27.1   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 4.75       | 484.2  | 24.5   |         | 8.56       | 872.6  | 44.11  |         | 8.45       | 861.4  | 43.5   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 6.69       | 682.0  | 34.5   |         | 13.03      | 1328.3 | 67.14  |         | 13.01      | 1326.2 | 67.0   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 8.96       | 913.4  | 46.2   |         | 19.33      | 1970.5 | 99.61  |         | 20.40      | 2079.6 | 105.1  |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 11.67      | 1189.6 | 60.1   |         | 25.63      | 2612.7 | 132.07 |         | 26.84      | 2736.1 | 138.3  |         |



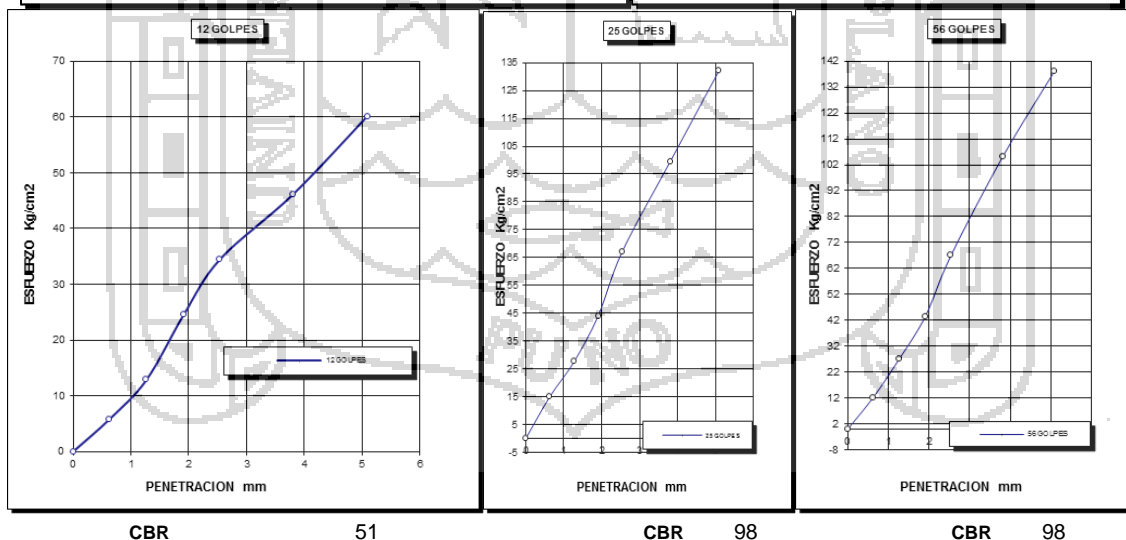
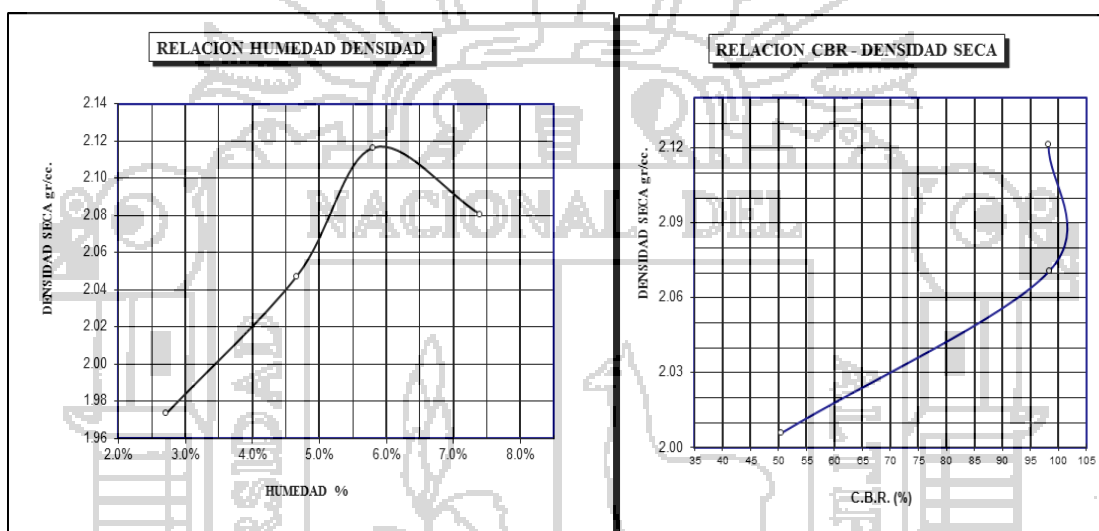
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |                          |       |
| 6% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 360   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.12 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 5.93% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 98  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 54    |



CBR 51

CBR 98

CBR 98



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



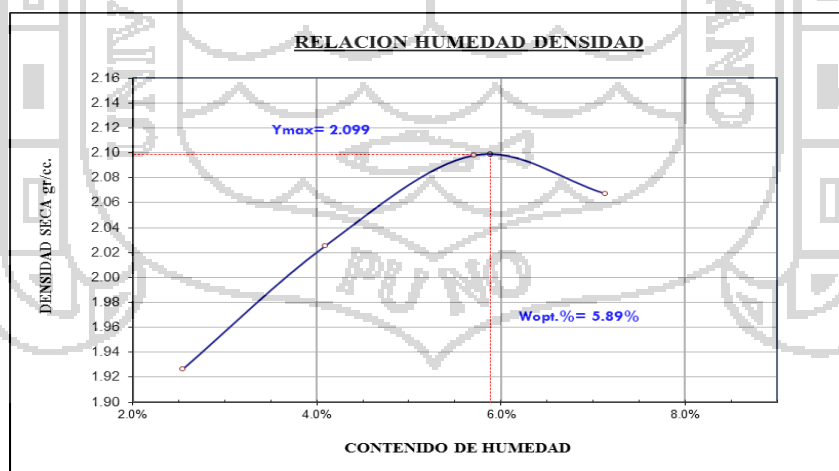
REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO

|                                      |   |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | PROCTOR MODIFICADO  |  |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |  |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |  |  |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |  |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DEL 2014  |  |  |
| METODO DE COMPACTACION               | C (NUMERO DE CAPAS: 05 y NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56)   |  |  |

|                           |        |         |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| VOLUMEN DEL MOLDE         | cm3    | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 | 2122.99 |
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 10192   | 10475   | 10707   | 10701   |
| Peso del Molde            | gr.    | 5999    | 5999    | 5999    | 5999    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cc. | 4193    | 4476    | 4708    | 4702    |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc  | 1.98    | 2.11    | 2.22    | 2.21    |

| Capsula No                     | No  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 183.21 | 195.49 | 198.93 | 182.96 | 117.56 | 118.03 | 177.90 | 213.70 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 179.44 | 191.48 | 192.17 | 177.40 | 112.45 | 112.40 | 167.73 | 202.00 |
| Peso del Agua                  | gr. | 3.77   | 4.01   | 6.76   | 5.56   | 5.11   | 5.63   | 10.17  | 11.70  |
| Peso de la Capsula             | gr. | 31.38  | 33.08  | 37.22  | 31.94  | 16.60  | 19.74  | 31.10  | 30.39  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 148.06 | 158.40 | 154.95 | 145.46 | 95.85  | 92.66  | 136.63 | 171.61 |
| % de Humedad                   | %   | 2.55%  | 2.53%  | 4.36%  | 3.82%  | 5.33%  | 6.08%  | 7.44%  | 6.82%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 2.54%  |        | 4.09%  |        | 5.70%  |        | 7.13%  |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.926  |        | 2.025  |        | 2.098  |        | 2.067  |        |

|                      |   |            |
|----------------------|---|------------|
| MAXIMA DENSIDAD SECA | : | 2.10 gr/cc |
| HUMEDAD OPTIMA       | : | 5.89%      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |  |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |  |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |  |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |  |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |  |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |  |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |  |

|                           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| MOLDE No                  | 1        | 2        | 3        |
| No DE CAPAS               | 5        | 5        | 5        |
| NUMERO DE GOLPES POR CAPA | 12       | 25       | 56       |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | SATURADO | SATURADO | SATURADO |

|                           |        |         |         |         |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.    | 12018   | 11623   | 11905   |
| Peso del Molde            | gr.    | 7186    | 6602    | 6807    |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr.    | 4832    | 5021    | 5098    |
| Volumen del Suelo         | cc.    | 2282.30 | 2294.35 | 2284.30 |
| Densidad del Suelo Húmedo | gr/cc. | 2.117   | 2.188   | 2.232   |

|                               |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capsula No                    | No     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Suelo Húmedo + Capsula        | gr.    | 109.27 | 134.97 | 126.17 | 130.50 | 115.45 | 142.43 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr.    | 102.11 | 127.43 | 119.26 | 123.98 | 109.57 | 134.93 |
| Peso del Agua                 | gr.    | 7.16   | 7.54   | 6.91   | 6.52   | 5.88   | 7.50   |
| Peso de la Capsula            | gr.    | 12.97  | 13.78  | 17.77  | 22.00  | 21.43  | 21.82  |
| Peso del Suelo Seco           | gr.    | 89.14  | 113.65 | 101.49 | 101.98 | 88.14  | 113.11 |
| % de Humedad                  | %      | 8.03%  | 6.63%  | 6.81%  | 6.39%  | 6.67%  | 6.63%  |
| Promedio de Humedad           | %      | 7.33%  |        | 6.60%  |        | 6.65%  |        |
| Densidad del Suelo Seco       | gr/cc. | 1.973  |        | 2.053  |        | 2.093  |        |

**EXPANSIÓN**

| Fecha      | Hora       | Tiempo | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       | Dial   | Expansión |       |
|------------|------------|--------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
|            |            |        |        | mm        | %     |        | mm        | %     |        | mm        | %     |
| 08/04/2014 | 12:28 p.m. | 0 h.   | 11.874 | 0         | 0     | 18.342 | 0         | 0     | 14.252 | 0         | 0     |
| 12/04/2014 | 12:28 p.m. | 96 h.  | 11.855 | -0.019    | -0.02 | 18.31  | -0.03     | -0.03 | 14.231 | -0.02     | -0.02 |

**PENETRACIÓN**

| Penetración mm | Tiempo | Carga Est. | MOLDE No 1 |        |        |         | MOLDE No 2 |        |        |         | MOLDE No 3 |        |        |         |
|----------------|--------|------------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
|                |        |            | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. | KN         | Kg     | Kg/cm2 | Correc. |
| 0.63           | 00:30  |            | 1.26       | 128.4  | 6.5    |         | 3.17       | 323.1  | 16.33  |         | 2.40       | 244.7  | 12.4   |         |
| 1.27           | 01:00  |            | 2.64       | 269.1  | 13.6   |         | 5.70       | 581.1  | 29.37  |         | 4.65       | 474.0  | 24.0   |         |
| 1.91           | 01:30  |            | 4.31       | 439.4  | 22.2   |         | 9.50       | 968.4  | 48.95  |         | 8.13       | 828.8  | 41.9   |         |
| 2.54           | 02:00  | 70.31      | 5.73       | 584.1  | 29.5   |         | 14.56      | 1484.2 | 75.03  |         | 12.51      | 1275.3 | 64.5   |         |
| 3.81           | 03:00  |            | 8.86       | 903.2  | 45.7   |         | 20.92      | 2132.6 | 107.80 |         | 19.29      | 1966.4 | 99.4   |         |
| 5.09           | 04:00  | 105.00     | 12.05      | 1228.4 | 62.1   |         | 26.04      | 2654.5 | 134.18 |         | 26.79      | 2731.0 | 138.0  |         |



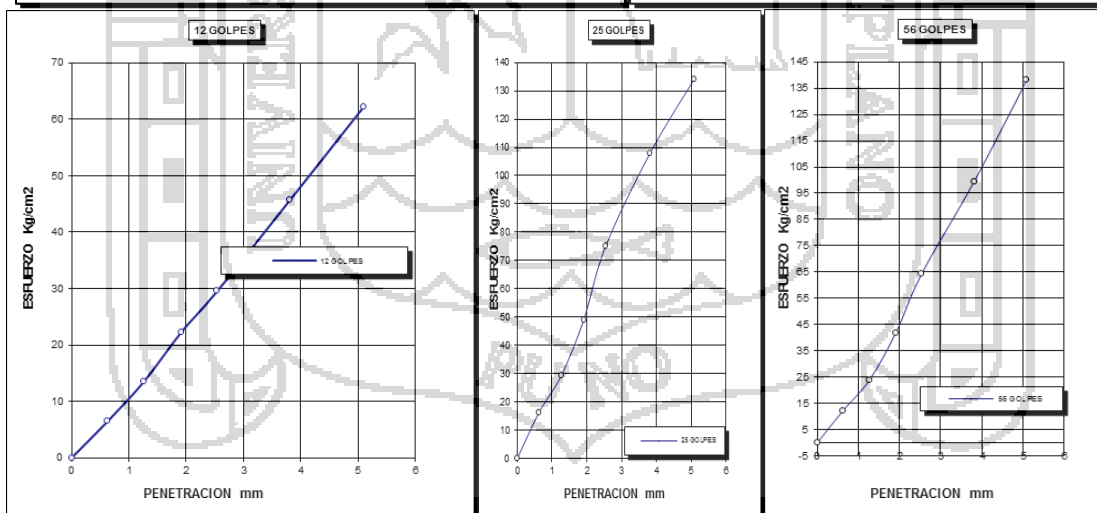
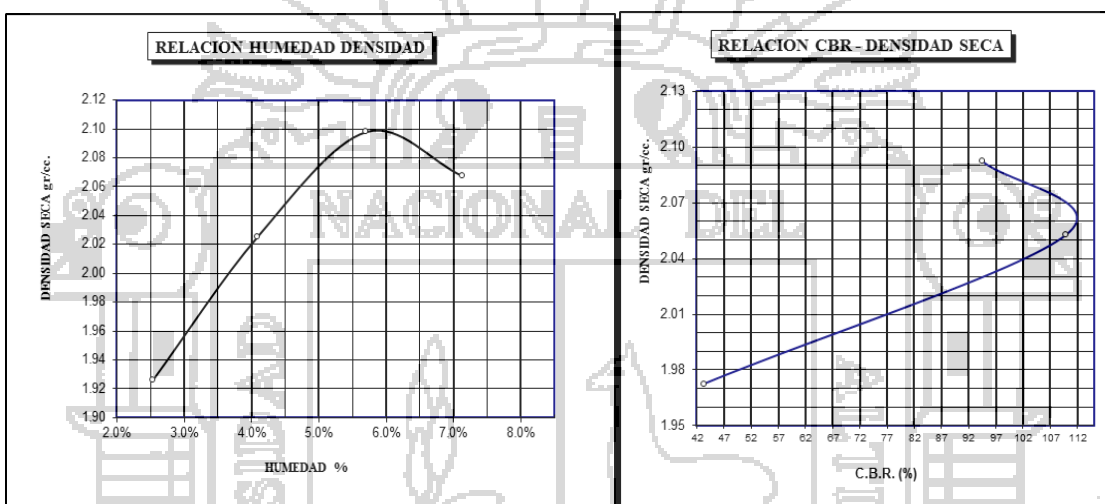
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

**REGISTRO DE DATOS DEL LABORATORIO**

|                                      |   |                          |       |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------|
| ENSAYO REALIZADO:                    | CBR   |                          |       |
| REALIZADO POR:                       | BACH. FREDDY QUISPE SUPO  |                          |       |
| UBICACIÓN DEL PROYECTO:              | PROVINCIA PUNO - DISTRITO PUNO  |                          |       |
| DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |                          |       |
| CANTERA                              | JALLIHUAYA  |                          |       |
| 8% DE PVC RET. N° 10 Y PAS. N° 4 (g) | 480   |                          |       |
| FECHA DE REALIZACIÓN ENSAYO          | ABRIL DE 2014   |                          |       |
| METODO DE COMPACTACIÓN               | C   |                          |       |
| DENSIDAD SECA MÁXIMA                 | 2.10 gr/cc  | HUMEDAD ÓPTIMA           | 5.89% |
| CBR AL 100% DE M.D.S. (%)            | 94  | CBR AL 95% DE M.D.S. (%) | 61    |



CBR 43

CBR 110

CBR 94





### 6.4. ANEXO IV

## ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO CON LA ESTABILIZACIÓN DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO.

**Análisis de costos de Desecho Policloruro de Vinilo por metro cubico.**

**I. Para el inicio del análisis se tomó en cuenta para 6 Kg de Material de Cantera. El siguiente análisis es para la Cantera Salcedo.**

a) Datos de entrada:

Máxima densidad seca del material de cantera (gr/cc) : 2.14gr/cc  
 Peso específico del desecho de policloruro de vinilo (gr/cc) : 1.4 gr/cc  
 Peso específico del agua (gr/cc) : 1 gr/cc

b) Cálculos

- En 6000gr de material de cantera se tiene 6% de Desecho de Policloruro de Vinilo y 6.75% de agua, según las conclusiones y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (Ensayo Proctor Modificado), entonces:

Peso del material de cantera = 6000gr..... (1)  
 Peso del Desecho de PVC = 6%(6000gr) = 360gr..... (2)  
 Peso del agua = 6.75% (6000gr) = 405gr..... (3)

- Sumando (1), (2) y (3), se logra obtener el peso Bruto en 6Kg de Material de cantera de:

Peso Bruto = 6000gr + 360gr + 405gr = 6765gr..... (4)

- Hallando el Peso Bruto para 1Kg de Peso total.

Material de Cantera = 6765gr. \_\_\_\_\_ 6000gr. (material de cantera)  
 1000gr. \_\_\_\_\_ X (material de cantera)

Entonces: X (material de cantera) = 886.92gr.

Desecho de PVC = 6765gr. \_\_\_\_\_ 360gr. (Desecho de PVC)  
 1000gr. \_\_\_\_\_ Y (Desecho de PVC)

Entonces: Y (Desecho de PVC) = 53.22gr.

Agua: = 6765gr \_\_\_\_\_ 405gr. (Agua)  
 1000gr \_\_\_\_\_ Z (Agua)



Entonces:  $Z \text{ (Agua)} = 59.87\text{gr.}$

Resumen por 1Kg de Peso Total:

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 886.92gr | Material de Cantera |
| 53.22gr  | Desecho de PVC      |
| 59.87gr  | Agua                |

- Convirtiendo cada peso a  $\text{cm}^3$  dividiendo cada componente entre su peso específico respectivamente:

$$\text{Material de Cantera} = \frac{886.92\text{gr}}{2.05 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}} = 432.64 \text{ cm}^3$$

$$\text{Desecho de PVC} = \frac{53.22\text{gr}}{1.4 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}} = 38.01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{59.87\text{gr}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}} = 59.87 \text{ cm}^3$$

Entonces Volumen total de los tres componentes es igual a:

$$\text{VT} = 432.64 \text{ cm}^3 + 38.01 \text{ cm}^3 + 59.87 \text{ cm}^3 = 530.52 \text{ cm}^3$$

- Representación de cada componente por  $1\text{m}^3$ .

$$\text{Material de Cantera} = 432.64 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{530.52 \text{ cm}^3} \text{ (Material de cantera)}$$

$$\text{Entonces: } A \text{ m}^3 \text{ (material de cantera)} = 0.8155 \text{ m}^3$$

$$\text{Desecho de PVC} = 38.01 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{530.52 \text{ cm}^3} \text{ (Desecho de PVC)}$$

$$\text{Entonces: } B \text{ m}^3 \text{ (Desecho de PVC)} = 0.0716 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 59.87 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{530.52 \text{ cm}^3} \text{ (Agua)}$$

$$\text{Entonces: } C \text{ m}^3 \text{ (Agua)} = 0.1129 \text{ m}^3$$

Nota: Para el análisis de costos los componentes: Material de Cantera y Agua estarán en unidades de  $\text{m}^3$  y el componente Desecho de Policloruro de Vinilo estará en unidades Kg. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Desecho de PVC} &= 1.4\text{gr.} \text{ ————— } 1 \text{ cm}^3 \text{ (Desecho de PVC)} \\ &D \text{ gr.} \text{ ————— } 0.0716\text{m}^3 \text{ (Desecho de PVC)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow D \text{ gr. (Desecho de PVC)} = \frac{1.4 \text{ gr} (0.0716 \text{ m}^3)}{1 \text{ cm}^3 \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3} = 100240 \text{ gr} \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \right) = 100.24 \text{ Kg.}$$

- Entonces la dosificación por 1 m<sup>3</sup> es:

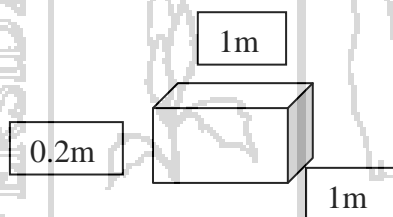
|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| 0.8155 m <sup>3</sup> | Material de Cantera |
| 100.24 Kg             | Desecho de PVC      |
| 0.1129 m <sup>3</sup> | Agua                |

- Porcentaje de Desperdicio de cada uno 7% (Fuente: CAPECO):

$$\begin{aligned} \text{Material de Cantera} & : 0.8155 * (1.07) = 0.8726 \text{ m}^3 \\ \text{Desecho de PVC} & : 100.24 * (1.07) = 107.2568 \text{ Kg.} \\ \text{Agua} & : 0.1129 * (1.07) = 0.1208 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Para Realizar el Análisis de Costos unitarios, se tomara la unidad m<sup>2</sup>, entonces las cantidades de cada componente por 1 m<sup>2</sup> es:

Para el análisis se tomara en cuenta una capa (Sea base o Sub Base de 0.20m de espesor)



$$\text{Volumen} = 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 0.2 \text{ m} = 0.20 \text{ m}^3$$

Entonces las cantidades por m<sup>2</sup> son:

$$\begin{aligned} \text{Material de Cantera} & : 0.8726 \text{ m}^3 * (0.20 \text{ m}) = 0.1745 \text{ m}^3 \\ \text{Desecho de PVC} & : 107.2568 \text{ Kg} * (0.20 \text{ m}) = 21.4514 \text{ Kg} \\ \text{Agua} & : 0.1208 \text{ m}^3 * (0.20 \text{ m}) = 0.0242 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**II. Para el inicio del análisis se tomó en cuenta para 6 Kg de Material de Cantera. El siguiente análisis es para la Cantera Jallihuaya.**

c) Datos de entrada:

|  |             |
|--|-------------|
| Máxima densidad seca del material de cantera (gr/cc)         | : 2.19gr/cc |
| Peso específico del desecho de Policloruro de Vinilo (gr/cc) | : 1.4 gr/cc |
| Peso específico del agua (gr/cc)                             | : 1 gr/cc   |



d) Cálculos

- En 6000gr de material de cantera se tiene 6% de Desecho de Policloruro de Vinilo y 6.22% de agua, según las conclusiones y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (Ensayo Proctor Modificado), entonces:

Peso del material de cantera = 6000gr..... (1)  
 Peso del Desecho de PVC = 6%(6000gr) = 360gr..... (2)  
 Peso del agua = 6.22% (6000gr) = 373.2gr..... (3)

- Sumando (1), (2) y (3), se logra obtener el peso Bruto en 6Kg de Material de cantera de:

Peso Bruto = 6000gr + 360gr + 373.2gr = 6733.2gr..... (4)

- Hallando el Peso Bruto para 1Kg de Peso total.

Material de Cantera =  $\frac{6733.2gr}{1000gr} \times 6000gr$  (material de cantera)  
 Entonces: X (material de cantera) = 891.11gr.

Desecho de PVC =  $\frac{6733.2gr}{1000gr} \times 360gr$  (Desecho de PVC)  
 Entonces: Y (Desecho de PVC) = 53.47gr.

Agua: =  $\frac{6733.2gr}{1000gr} \times 373.2gr$  (Agua)  
 Entonces: Z (Agua) = 55.43gr.

Resumen por 1Kg de Peso Total:

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 891.11gr | Material de Cantera |
| 53.47gr  | Desecho de PVC      |
| 55.43gr  | Agua                |

- Calculando cada componente entre su peso específico respectivamente:

Material de Cantera =  $\frac{891.11gr}{2.19 \frac{gr}{cc}}$  = 406.90 cm<sup>3</sup>

Desecho de PVC =  $\frac{53.47gr}{1.4 \frac{gr}{cc}}$  = 38.19 cm<sup>3</sup>



$$\text{Agua} = \frac{55.43 \text{ gr}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}} = 55.43 \text{ cm}^3$$

Entonces Volumen total de los tres componentes es igual a:

$$\text{VT} = 406.90 \text{ cm}^3 + 38.19 \text{ cm}^3 + 55.43 \text{ cm}^3 = 500.52 \text{ cm}^3$$

- Representación de cada componente por 1m<sup>3</sup>.

$$\text{Material de Cantera} = 406.9 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{500.52 \text{ cm}^3} = 0.8130 \text{ m}^3 \text{ (Material de cantera)}$$

Entonces: Am<sup>3</sup> (material de cantera) = 0.8130 m<sup>3</sup>

$$\text{Desecho de PVC} = 38.19 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{500.52 \text{ cm}^3} = 0.0763 \text{ m}^3 \text{ (Desecho de PVC)}$$

Entonces: B m<sup>3</sup> (Desecho de PVC) = 0.0763 m<sup>3</sup>

$$\text{Agua} = 55.43 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{500.52 \text{ cm}^3} = 0.1107 \text{ m}^3 \text{ (Agua)}$$

Entonces: C m<sup>3</sup> (Agua) = 0.1107 m<sup>3</sup>

Nota: Para el análisis de costos los componentes: Material de Cantera y Agua estarán en unidades de m<sup>3</sup> y el componente Desecho de Policloruro de Vinilo estará en unidades Kg. Por lo tanto:

$$\text{Desecho de PVC} = 1.4 \text{ gr} \cdot \frac{1 \text{ cm}^3}{0.0763 \text{ m}^3} = 18.48 \text{ gr/cm}^3$$

$$\Rightarrow \text{D gr. (Desecho de PVC)} = \frac{1.4 \text{ gr} \cdot (0.0763 \text{ m}^3)}{1 \text{ cm}^3 \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3} = 106820 \text{ gr} \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \right) = 106.82 \text{ Kg.}$$

- Entonces la dosificación por 1 m<sup>3</sup> es:

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| 0.8130 m <sup>3</sup> | Material de Cantera |
| 106.82 Kg             | Desecho de PVC      |
| 0.1107 m <sup>3</sup> | Agua                |

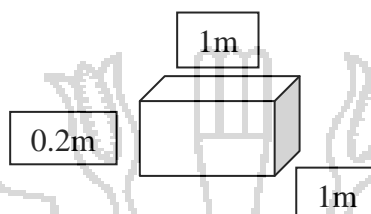
- Porcentaje de Desperdicio de cada uno 7% (Fuente: CAPECO):

$$\text{Material de Cantera} : 0.8130 \cdot (1.07) = 0.8700 \text{ m}^3$$

|                |                  |   |                       |
|----------------|------------------|---|-----------------------|
| Desecho de PVC | : 106.82* (1.07) | = | 114.2974 Kg.          |
| Agua           | : 0.1107*(1.07)  | = | 0.1184 m <sup>3</sup> |

- Para Realizar el Análisis de Costos unitarios, se tomara la unidad m<sup>2</sup>, entonces las cantidades de cada componente por 1 m<sup>2</sup> es:

Para el análisis se tomara en cuenta una capa (Sea base o Sub Base de 0.20m de espesor)



$$\text{Volumen} = 1\text{m} * 1\text{m} * 0.2\text{m} = 0.20\text{m}^3$$

Entonces las cantidades por m<sup>2</sup> son:

|                     |                                 |   |                       |
|---------------------|---------------------------------|---|-----------------------|
| Material de Cantera | : 0.8700 m <sup>3</sup> *(0.20) | = | 0.1740 m <sup>3</sup> |
| Desecho de PVC      | : 114.2974 Kg*(0.20)            | = | 22.8595 Kg            |
| Agua                | : 0.1184 m <sup>3</sup> *(0.20) | = | 0.0237m <sup>3</sup>  |

**III. Una vez determinado los aportes de cada componente (Material de cantera, Desecho de PVC y agua) el siguiente paso es realizar el análisis de costo unitario en sí.**



ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (CANTERA SALCEDO)

| Presupuesto    | 0403002  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS | 1,600.0000 | EQ. 1,600.0000 | Unidad | Costo unitario directo por: | Parcial S  |
|----------------|--|---|------------|----------------|--------|-----------------------------|------------|
| Subpresupuesto | 001  | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS |            |                |        | m2                          |            |
| Partida        |  | EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTADO DE MATERIAL DE CANTERA Y MATERIAL ESTABILIZANTE   |            |                |        |                             |            |
| Rendimiento    | m2/DIA   |   |            |                |        |                             | 32.91      |
| Código         | Descripción Recurso                                      | Mano de Obra  |            |                | Unidad | Cantidad                    | Precio S/. |
| 0147010003     | OFICIAL  |   |            |                | hh     | 0.5000                      | 8.34       |
| 0147010004     | PEON   |   |            |                | hh     | 4.0000                      | 7.72       |
| 0298010181     | ESTABILIZADOR (DESECHO DE PVC)                           | Materiales  |            |                | kg     | 21.4514                     | 1.10       |
| 0298010182     | AGUA   |   |            |                | m3     | 0.0242                      | 1.00       |
| 0298010183     | MATERIAL DE CANTERA                                      |   |            |                | m3     | 0.1745                      | 40.00      |
|                |  |   |            |                |        |                             | 30.6       |
| 0337010001     | HERRAMIENTAS MANUALES                                    | Equipos   |            |                | %MO    | 3.0000                      | 0.17       |
| 0349030013     | RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton |   |            |                | hm     | 0.0050                      | 150.00     |
| 0349090000     | MOTONIVELADORA DE 125 HP                                 |   |            |                | hm     | 0.0050                      | 136.00     |
| 0398010150     | CAMION CISTERNA 4X2 (AGUA) 2,000 GAL.                    |   |            |                | hm     | 0.0050                      | 140.00     |
|                |  |   |            |                |        |                             | 2.1        |



ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (CANTERA JALLIHUAYA)

| Presupuesto | Subpresupuesto | Partida | Rendimiento | Código     | Descripción Recurso   | Mano de Obra | Materiales | Equipos | Unidad | EQ.        | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------------|----------------|---------|-------------|------------|---|--------------|------------|---------|--------|------------|-----------|----------|------------|-------------|
| 0403002     | 001            |         | m2/DIA      |            | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS NO APTOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE Y SUB BASE DE PAVIMENTOS | 1,600.0000   |            |         |        | 1,600.0000 |           |          | 34.44      |             |
|             |                |         |             | 0147010003 | OFICIAL   | hh           |            |         | hh     |            | 0.5000    | 0.0025   | 8.34       | 0.0         |
|             |                |         |             | 0147010004 | PEON  | hh           |            |         | hh     |            | 4.0000    | 0.0200   | 7.72       | 0.1         |
|             |                |         |             | 0298010181 | ESTABILIZADOR (DESECHO DE PVC)  |              | kg         |         |        |            |           | 22.8595  | 1.10       | 25.1        |
|             |                |         |             | 0298010182 | AGUA  |              | m3         |         |        |            |           | 0.0237   | 1.00       | 0.0         |
|             |                |         |             | 0298010183 | MATERIAL DE CANTERA   |              | m3         |         |        |            |           | 0.1740   | 40.00      | 6.9         |
|             |                |         |             |            |   |              |            |         |        |            |           |          |            | 32.1        |
|             |                |         |             | 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES   |              | %MO        |         |        |            |           | 3.0000   | 0.17       | 0.0         |
|             |                |         |             | 0349030013 | RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7.9 ton  |              | hm         |         |        |            | 1.0000    | 0.0050   | 150.00     | 0.7         |
|             |                |         |             | 0349090000 | MOTONIVELADORA DE 125 HP  |              | hm         |         |        |            | 1.0000    | 0.0050   | 136.00     | 0.6         |
|             |                |         |             | 0398010150 | CAMION CISTERNA 4X2 (AGUA) 2.000 GAL.   |              | hm         |         |        |            | 1.0000    | 0.0050   | 140.00     | 0.7         |
|             |                |         |             |            |   |              |            |         |        |            |           |          |            | 2.1         |

Costo unitario directo por :  
m2



## 6.5. ANEXO V

### ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO EN PROYECTOS CARRETEROS.

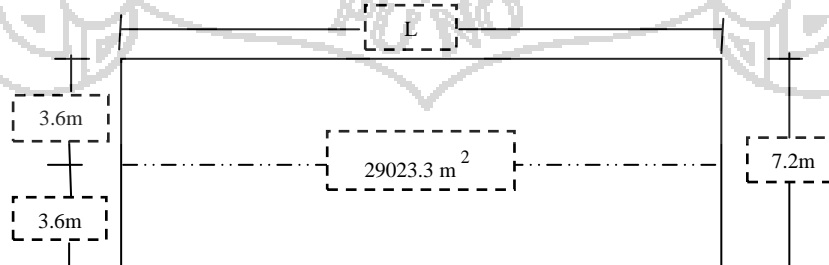
Según el Manual de Carreteras DG-2013, el número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones y composición del tráfico, acorde al IMDA de diseño, así como del nivel de servicio deseado. Los anchos de carril que se usen, serán de 3.00 m (IMDA menor a 200 veh/día.), 3.30 m (IMDA entre 2000 y 400 veh/día e IMDA menores a 400 veh/día) y 3.60 m (IMDA mayor a 6000 veh/día, IMDA entre 6000 y 4001 veh/día e IMDA entre 4000 y 2001 veh/día).

La tabla 45 mostrada en ítem anterior (ver pág. 104), muestra que para un año de recolección de desechos de Policloruro de Vinilo se pueden obtener aproximadamente 624 ton. Y según el anexo IV (Análisis de costo unitario con la estabilización de desecho de Policloruro de Vinilo), para la cantera Salcedo la cantidad de desecho de PVC por metro cuadrado requerido es 21.5kg. Realizando la siguiente operación (regla de tres simple) se tiene:

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^2 \text{ ————— } 21.5 \text{ kg (desecho de PVC)} \\ X\text{m}^2 \text{ ————— } 624000 \text{ kg (desecho de PVC)} \end{array}$$

Entonces:  $X\text{m}^2 = 29023.3 \text{ m}^2$

Tomando como referencia los criterios de diseño de la DG-2013, se tomara un ancho mínimo de calzada de 3.6m., entonces la sección de la carretera quedara de la siguiente forma:



De donde:

$$7.2\text{m} * L = 29023.3 \text{ m}^2$$

$$L = 4031\text{m}$$

$$\Rightarrow L = 4.031\text{km}$$

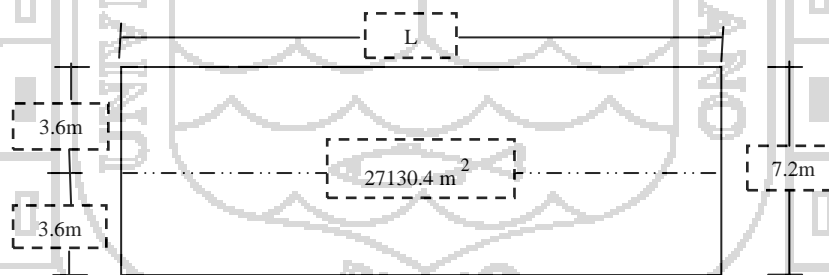
*Por lo tanto, con la cantidad de desecho de Policloruro de Vinilo que se puede recolectar al año, se puede ejecutar tramos de 4.031 km de longitud de carretera. (Con suelo de la cantera Salcedo)*

De igual manera de la tabla 45 mostrada en ítem anterior (ver pág. 104), muestra que para un año de recolección de desechos de Policloruro de Vinilo se pueden obtener aproximadamente 624 ton. Y según el anexo IV (Análisis de costo unitario con la estabilización de desecho de Policloruro de Vinilo), para la cantera Jallihuaya la cantidad de desecho de PVC por metro cuadrado requerido es 23kg. Realizando la siguiente operación (regla de tres simple) se tiene:

$$\frac{1\text{m}^2}{X\text{m}^2} = \frac{23\text{ kg (desecho de PVC)}}{624000\text{ kg (desecho de PVC)}}$$

Entonces:  $X\text{m}^2 = 27130.4\text{ m}^2$

Tomando como referencia los criterios de diseño de la DG-2013, se tomara un ancho mínimo de calzada de 3.6m entonces la sección de la carretera quedara de la siguiente forma:



De donde:

$$7.2\text{m} * L = 27130.4\text{ m}^2$$

$$L = 3768\text{ m}$$

$$\Rightarrow L = 3.768\text{ km}$$

*Por lo tanto, con la cantidad de desecho de Policloruro de Vinilo que se puede recolectar al año, se puede ejecutar tramos de 3.768 km de longitud de carretera. (Con suelo de la cantera Jallihuaya)*

## 6.6. ANEXO VI

### CERTIFICACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

## 6.7. ANEXO VII

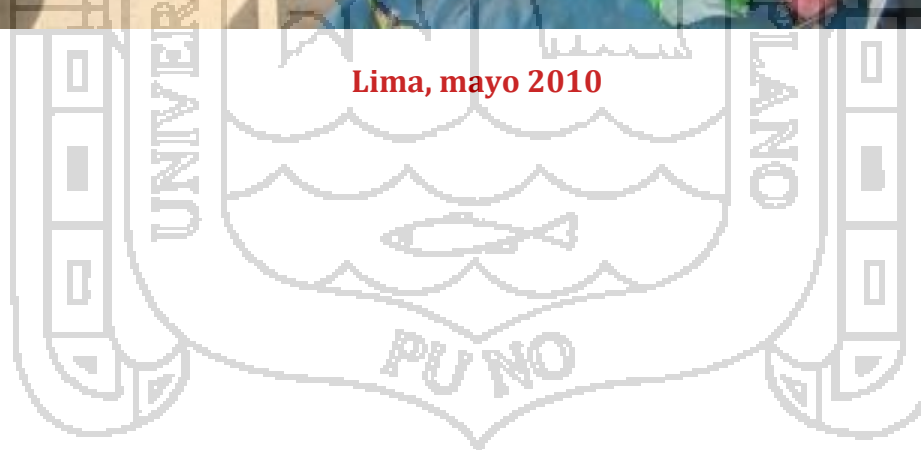
### ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS (DOMICILIARIOS Y NO DOMICILIARIOS) DEL DISTRITO DE PUNO



## ***ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS (DOMICILIARIOS Y NO DOMICILIARIOS) DEL DISTRITO DE PUNO***



**Lima, mayo 2010**



# Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos en el Distrito de Puno

Elaborado por:

- ❖ M.Sc. Blgo. Rossana Vera Alarcón, Consultor externo
- ❖ Bachiller en Ing. Químico Roberto Carlos Loayza Dueñas, Consultor externo





## Concejo Provincial de Puno

ORDENANZA MUNICIPAL N° 307 - 2011 - CMPP.

Puno, 25 de julio del 2011

EL SEÑOR ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO.

**POR CUANTO:**

Visto, en sesión de concejo del día de la fecha el Dictamen N° 01-2011-CPMASC y sus actuados; y

**CONSIDERANDO:**

Que, el numeral 4.1) del artículo 80° de la Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972; establece que las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen la función de administrar y reglamentar, directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando esté en capacidad de hacerlo.

Que, la Política Ambiental Local de la Municipalidad Provincial de Puno, aprobada por Ordenanza Municipal N° 160 – 2006 – CMPP; sostiene en el Principio de Gradualismo, que la sustentabilidad ambiental sólo se logra a través de esfuerzos continuos y mejoras sostenidas. Para ello es necesario establecer plazos prudentes que permitan cumplir objetivos de recuperación ambiental o ajustarse a mayores exigencias normativas, en función de factores de tipo socioeconómico, requerimientos tecnológicos o dinámicas de procesos contaminantes.

Que, el numeral 1) del artículo 10° de la Ley N° 27314, modificado por el Decreto Legislativo N° 1065, hace referencia a que las Municipalidades están obligadas a planificar la gestión integral de los residuos sólidos en el ámbito de su jurisdicción, compatibilizando los planes de manejo de residuos sólidos de sus distritos y centros poblados menores, con las políticas de desarrollo local y regional con sus respectivos Planes de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano.

Que, en el segundo párrafo del artículo 22° del Decreto Supremo N° 057 – 2004 – PCM, establece que, las Municipalidades provinciales regularán los aspectos relativos al manejo de los residuos sólidos peligrosos de origen doméstico y comercial, incluyendo la obligación de los generadores de segregar adecuadamente los mismos, de conformidad con lo que establece el Reglamento; en ese contexto, el artículo 23° de la referida norma, menciona que las Municipalidades Provinciales formulan sus Planes Integrales de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS); de esta misma forma, el artículo 54° de la norma referida, desarrolla la minimización y reaprovechamiento de residuos, las cuales estarán consignadas en su respectivo Plan de Manejo de Residuos, las que serán promovidas por las autoridades sectoriales y municipales provinciales.





### *Concejo Provincial de Puno*

Que, en este sentido el PIGARS, constituye un instrumento de gestión generado desde un proceso de planificación estratégica y participativa, que permitirá mejorar las condiciones de salud y ambiente de nuestro ámbito jurisdiccional, con la finalidad de establecer un sistema sostenible de gestión de residuos sólidos.

Que, las municipalidades son órganos de gobierno local con personería jurídica de derecho público y tienen autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia, conforme lo establecido en el artículo 194° de la Constitución Política del Estado, concordante con lo dispuesto en el artículo II del Título Preliminar de la Ley Orgánica de Municipalidades N° 27972.

En ejercicio de las facultades conferidas por la Constitución Política del Perú, Ley Orgánica de Municipalidades y demás que correspondan, el Concejo Provincial por mayoría y con dispensa del procedimiento de lectura y aprobación de acta, ha emitido la siguiente Ordenanza:

#### **ORDENANZA MUNICIPAL QUE APRUEBA EL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA PROVINCIA DE PUNO**

**Artículo 1°.- APROBAR** el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos – PIGARS de la Provincia de Puno, el mismo que en anexo forma parte de la presente Ordenanza.

**Artículo 2°.- ENCARGAR** a la Gerencia de Medio Ambiente y Servicios de la Municipalidad Provincial de Puno la implementación de la Presente Ordenanza.

**Artículo 3°.- Publíquese** el texto íntegro de la presente Ordenanza, en el Portal de la Municipalidad Provincial de Puno: [www.munipuno.gob.pe](http://www.munipuno.gob.pe), así como en el portal del Estado Peruano, [www.serviciosalciudadano.gob.pe](http://www.serviciosalciudadano.gob.pe), de conformidad a lo establecido en el Art. 3° de la Ley N° 29091.

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE Y CÚPLASE**

Municipalidad Provincial de Puno

**Abog. Juan E. Monzón Granda**  
SECRETARIO GENERAL

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO

**Ing. Luis Suárez Castilla**  
Alcalde

## 1. ANTECEDENTES

Los estudios de caracterización de residuos sólidos realizados parten de una necesidad de información requerida en el marco del Programa de Gestión de Residuos Sólidos del Perú, que se viene llevando a cabo, con la cooperación de La Agencia de Cooperación Internacional del Japón –JICA y el Banco Interamericano

de Desarrollo (BID), teniendo al Ministerio del Ambiente como contraparte Nacional.

Los estudios de caracterización de residuos sólidos del distrito de Puno contribuirá a la elaboración del Estudio de Factibilidad, el mismo que está dirigido a garantizar que la Municipalidad cuente con un proyecto integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos, con énfasis a contar con la infraestructura para el tratamiento y disposición final de los mismos.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos (ECRS) en el Distrito de Puno, Provincia de Puno, Departamento de Puno, realizado entre el 03 y 12 de Mayo del 2010.

Para este trabajo se utilizó la metodología recomendada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y. Ciencias del Ambiente-CEPIS, en el Manual “Método sencillo del análisis de residuos sólidos” del Dr. Kunitoshi Sakurai, la cual se encuentra desarrollada ampliamente en la sección 4 del presente documento. La metodología aplicada ha permitido determinar los siguientes aspectos: a) proyección de la población actual, b) número de muestras, c) sensibilización y capacitación de la población (viviendas seleccionadas), d) determinación de la generación per cápita e) composición física y densidad de los residuos sólidos.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo general

Contar con Información primaria mediante la caracterización física de los residuos sólidos con el propósito de elaborar una serie de instrumentos de gestión ambiental de residuos sólidos así como proyectos de inversión pública referidos a gestión de residuos sólidos a nivel de factibilidad y complementariamente, que permitan tomar decisiones respecto a tarifas y arbitrios de limpieza pública.

### 3.2 Objetivos específicos

- Calcular la producción per cápita de los residuos sólidos municipales.
- Determinar la producción, en peso y volumen y densidad de los residuos sólidos municipales de origen domiciliario, de mercados, y comerciales.
- Determinar la composición física de los residuos sólidos municipales estableciendo principalmente el potencial de recuperación de residuos sólidos.
- Proyectar hasta el año 2020 la generación de residuos municipales.

## 4. ACTIVIDADES REALIZADAS

Para el desarrollo del estudio, se realizaron las siguientes actividades.

### 4.1 Organización del equipo de trabajo

#### A. *Ciudad Saludable-PWI*

El Grupo CS, con el apoyo y conocimiento de Nippon Koei Co., Ltd., coordinó con los diferentes niveles de decisión de los Municipios (Alcaldía, Gerencia Municipal,



Gerencia de Medio Ambiente y Servicios).

También se coordinó con la Gerencia de Desarrollo Urbano, para la entrega de un mapa catastral del distrito y con la Gerencia de Administración Tributaria, para la entrega de información relevante al estudio de establecimientos comerciales y mercados. Además, se realizó las coordinaciones con los dirigentes de los mercados y dueños de los establecimientos comerciales, como con las familias seleccionadas en la muestra del estudio.

La participación y colaboración de los funcionarios municipales, de representantes de las organizaciones distritales y en especial de la población ha sido determinante para el éxito del trabajo realizado.

### ***B. Área de Limpieza***

Los funcionarios del Área de Limpieza recibieron capacitación sobre el proceso metodológico y participaron activamente en todos los estudios a través de:

- Supervisión de encuestas.
- Toma de datos del pesaje y composición de los residuos.
- Convocatorias para las reuniones con los operarios.
- Facilitación de la logística necesaria: áreas para pesaje y clasificación, vehículos de recolección y personal para las actividades operativas.

### ***C. Coordinador del estudio***

Estuvo a cargo de un consultor externo con experiencia en el manejo de residuos, el cual dirigió las actividades así como todo lo relacionado con la logística del estudio y la sistematización del mismo. Este profesional tuvo como contraparte del Municipio al Sr. David Carpio Vargas Gerente Municipal y al Sr. José Carlos Catacora Garnica asistente del área de Limpieza Pública. Quienes a su vez, tuvieron como apoyo un Subcoordinador y operarios de la municipalidad.

## **4.2 Coordinaciones generales**

Para el desarrollo de los estudios se coordinó de manera estrecha con los funcionarios de las dependencias municipales encargadas del tema de residuos sólidos a quienes se les presentó de manera detallada el estudio a realizar y se definió un equipo mixto de trabajo entre el Grupo CS y la Municipalidad, a este equipo se le capacitó en la ejecución del estudio de caracterización de residuos con el fin de que participen activamente en el proceso.

Este proceso de involucramiento de los funcionarios municipales permitió desarrollar y fortalecer sus capacidades a través del “aprender haciendo”.

## **4.3 Caracterización de residuos domiciliarios**

Para la realización del estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Puno se han seguido los siguientes pasos:

**Paso 1: Zonificación del distrito por estratos socioeconómicos**

*La zonificación distrital permitió determinar áreas homogéneas o con características similares. Para ello, se utilizó la clasificación que cuenta la Gerencia de Administración Tributaria, donde se zonifica al distrito en tres zonas: Ver ilustración N° 1.*

**Cuadro N° 1: Zonificación del distrito de Puno**

| Zona A   | Zona B  | Zona C   |
|--|---|--|
| Urbanizaciones residenciales ubicadas en el Centro del distrito. Poseen todos los servicios urbanos y otros complementarios. Sus habitantes gozan de altos ingresos. | <b>Urbanizaciones populares densamente pobladas.</b><br><br>Poseen servicios básicos con mejores condiciones que el estrato bajo. Ingreso económico un poco mayor o igual al sueldo mínimo legal. | <b>Viviendas precarias, de material rústico ubicadas en la periferia del distrito.</b><br><br>Carecen de algunos servicios básicos. Zona en proceso de consolidación. Ingreso económico familiar por debajo del sueldo mínimo legal. |

*Fuente: Gerencia de Administración Tributaria de la Municipalidad Distrital de Puno (2010)*

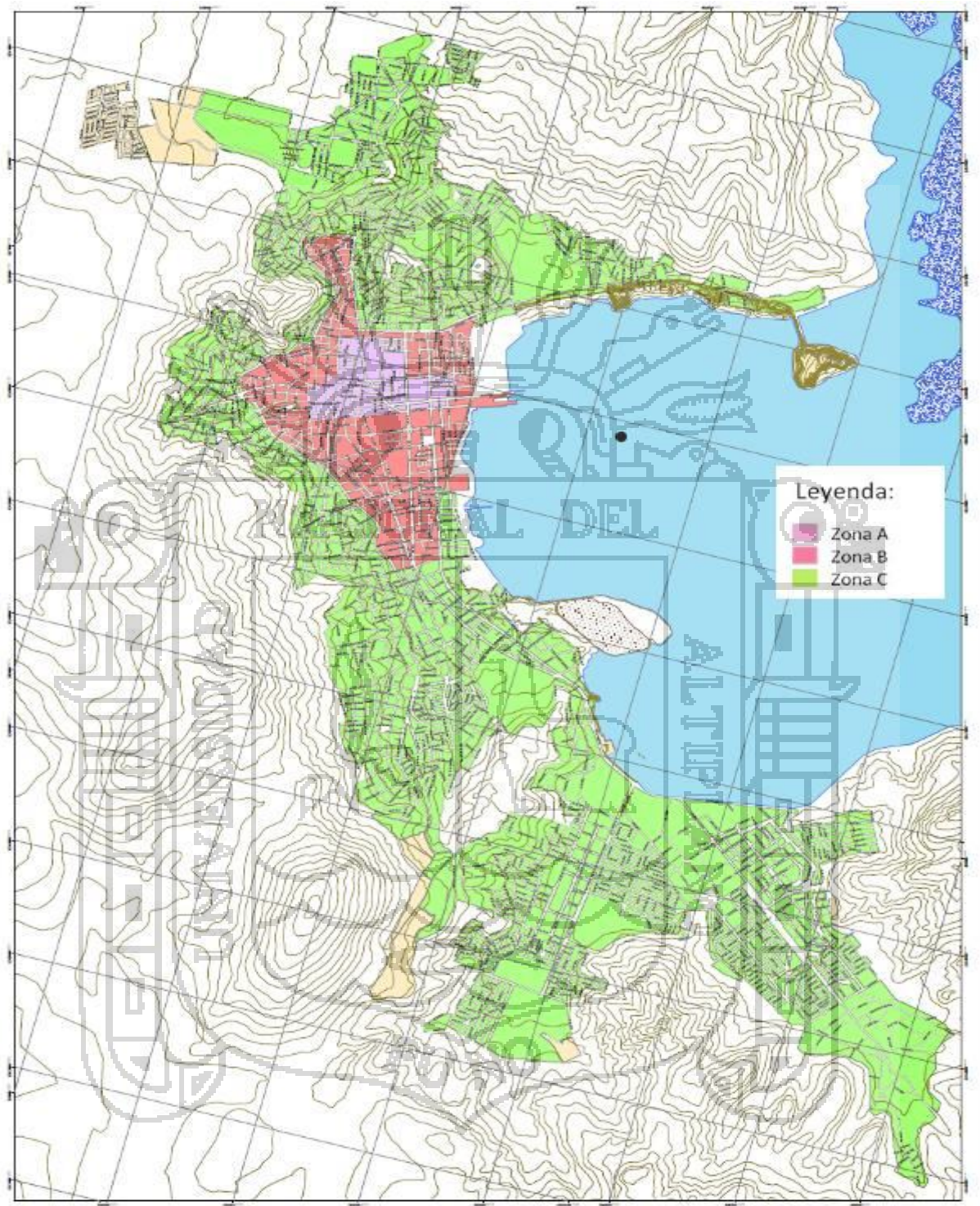
**Paso 2: Determinación y proyección de la población actual**

Para determinar la población actual de cada distrito se ha considerado la población del último Censo INEI 2007 y las tasas de crecimiento señaladas para tal fin.

**Paso 3: Distribución de la población total por zona**

*Haciendo uso del plano catastral otorgado por la Gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Distrital de Puno y los datos se procedió a determinar la población por cada una de las zonas.*

**Ilustración Nº 1: Plano de Zonificación del distrito de Puno**



*Fuente: Gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Distrital de Puno*

**Paso 4: Determinación del número de muestras**

Para determinar el número de muestras se aplicó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{v^2}{\left( \frac{(E)^2}{(1.96)^2} + \frac{v^2}{N} \right)}$$

**Donde:**

n = Número de muestras (domicilios)

v = Desviación estándar de la variable  $X_i$  ( $X_i$  = PPC de la vivienda i )  
(gr/hab/día)

E = Error permisible en la estimación de PPC (gr/hab/día)

N = Número total de viviendas del estrato definido

**Valores recomendados:**

Para efectos de agilizar los cálculos de la fórmula se utilizó los siguientes valores:

- Error permisible: 50 gr./hab-día.
- Confiabilidad 95%: 1.96.
- Desviación estándar: 200 gr./hab-día<sup>10</sup>.

Estos valores han sido considerados como los más apropiados, de acuerdo a la experiencia obtenida por el grupo CS en otros estudios realizados.

Aplicando la fórmula para la ciudad de Puno, se obtuvo como resultado 61 muestras domiciliarias, las cuales se distribuyeron proporcionalmente en cada una de las zonas. A fin de evitar la pérdida de muestras por ausencia de los moradores de las viviendas y por otros motivos ajenos al normal desarrollo del estudio, se consideró incrementar el número de muestras en un 35%, por lo cual la muestra se incrementó con 21 viviendas adicionales. Así en total fueron consideradas 83 muestras para el distrito.

**Cuadro Nº 2: Determinación del número de muestras en domicilios**

| Zonas        | Número de viviendas<br>11 | Tamaño de muestra |
|--------------|---------------------------|-------------------|
| Zona A       | 3 146                     | 6                 |
| Zona B       | 21 254                    | 42                |
| Zona C       | 17 971                    | 35                |
| <b>Total</b> | <b>42 371</b>             | <b>83</b>         |

<sup>10</sup> En muestras tomadas para diferentes estudios realizados se ha encontrado como promedio de desviación estándar 250 gr/hab/día.

<sup>11</sup> Dato obtenido en base a la información reportada por la Gerencia de Administración Tributaria de la Municipalidad Distrital de Puno

**Paso 5: *Determinación de las zonas representativas por nivel socio-económico***

Una vez determinado el número de muestras por zona, se eligió los lugares del distrito donde se tomarían las muestras, identificando las manzanas y las viviendas con las que se iba a trabajar.

Esta actividad de la determinación de las zonas de trabajo se realizó de manera conjunta con el equipo de trabajo.

Es importante señalar que se realizó también una visita de campo a las zonas pre-seleccionadas con el objetivo de definir in situ las zonas de muestreo para el estudio.

**Paso 6: *Sensibilización y capacitación de la población seleccionada***

Para iniciar las actividades de la recolección de las muestras, se aplicó una encuesta a todas las viviendas seleccionadas con el fin de recopilar datos cualitativos sobre su percepción del sistema de manejo de residuos y cuantitativos sobre el número de personas que habitan la vivienda, así como solicitarles su confirmación de participación en el estudio. Adicionalmente se hicieron entrega de las bolsas a las viviendas que mostraban su disposición a participar en el estudio, las mismas que fueron codificadas.

**Paso 7: *Toma de muestras***

La toma de las muestras se realizó normalmente durante 8 días, donde se entregó una bolsa plástica (marcada con un código de identificación) a cada representante de la vivienda codificada a cambio de la bolsa con residuos.

En cada vivienda seleccionada se indicó al jefe o jefa de familia que depositen dentro de la bolsa todos los residuos generados en el día como consecuencia de las diferentes actividades generadas en el hogar.

Luego se procedió a la recolección diaria de las bolsas de residuos de los domicilios en cada uno de los lugares de las zonas seleccionadas, empleando para la recolección trimóviles del municipio, que terminado la recolección de las viviendas se trasladó al área designada para el pesaje, la medición de la densidad y la caracterización de los residuos. Esta área fue la maestranza la cual está ubicada en el Jirón Branden.

El programa de muestreo se realizó durante ocho días consecutivos, donde se descartaron la información de la muestra tomada el primer día, debido a que se desconoce la cantidad de residuos que se han almacenado en días anteriores.

Es importante señalar que si bien los resultados del primer día se descartaron, es importante realizar el procedimiento completo para que el equipo de campo ajuste de manera efectiva sus funciones, tiempos y actividades.

**Paso 8: *Determinación de la generación per cápita***

Para el análisis de la producción de los residuos sólidos domésticos en cada zona del distrito se realizó lo siguiente:

- Una vez concluido el ruteo de recolección de bolsas correspondiente, se llevaron las muestras al área municipal designada para realizar el pesaje.
- El pesaje se realizó previa identificación del código o número de cada muestra, registrándose el peso en el formato correspondiente.
- Una vez obtenidos los pesos promedios de los residuos, de cada vivienda, en gabinete se procesaron los resultados obtenidos para obtener los PPC promedio de cada estrato.
- Luego de obtenidos los resultados de cada estrato, se determinó el PPC distrital, para lo cual se aplicó la fórmula de la media ponderada.

$$PPC_{\text{distrital}} = \frac{PPC_1 * \%NSE_1 + PPC_2 * \%NSE_2 + PPC_3 * \%NSE_3}{\%NSE_1 + \%NSE_2 + \%NSE_3}$$

### **Paso 9: Determinación de la densidad**

Para hallar la densidad de los residuos sólidos se realizó lo siguiente:

- Acondicionamiento de un recipiente cilíndrico de 200 litros de capacidad.
- Al azar se escogió bolsas de las ya registradas y pesadas y se procedió a vaciar su contenido dentro del recipiente; y así se cogió otras bolsas sucesivamente hasta llenar el recipiente.
- Una vez lleno, se levantó el recipiente 20 cm sobre la superficie y se lo dejó caer tres veces, con la finalidad de llenar los espacios vacíos en el mismo.
- Luego se midió la altura libre y se registró el dato en el formato correspondiente.

El cálculo de la densidad se realizó en gabinete haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{W}{V} = \frac{W}{N(D/2)^2(H-h)}$$

#### **Donde:**

- S: Densidad de los residuos sólidos
- W: Peso de los residuos sólidos
- V: Volumen del residuo sólido
- D: Diámetro del cilindro
- H: Altura total del cilindro
- h: Altura libre de residuos sólidos
- N: Constante (3.1416)

Adicionalmente, se compactó la basura dentro del cilindro, con la ayuda de un pizón, con el fin de determinar una nueva altura, con este dato y utilizando la misma fórmula anterior, se determinó la densidad de la basura compactada.

**Paso 10: Determinación de la composición física de los residuos sólidos**

**Para la determinación de la composición física de los residuos sólidos se utilizó el método del recipiente cilíndrico, utilizado y validado por las instituciones del Consorcio en diferentes estudios, el cual consistió en:**

- Vaciado del contenido del recipiente utilizado para determinar la densidad, luego se separó los componentes de acuerdo al tipo de residuo.
- Los componentes diferenciados, se depositaron en bolsas; mientras que, los residuos restantes se tamizaron para obtener la materia inerte; y, a la vez seguir rescatando los materiales segregables.
- Concluida la clasificación de los componentes, se realizó el pesaje y registro de los datos en el formato correspondiente.

Para los estudios, se consideró la clasificación de los siguientes componentes:

**A. Residuos aprovechables (A1 + A2):** estos pueden ser compostificables y reciclables.

**A.1 Compostificables:** estos pueden ser:

- ✓ Residuos orgánicos: Fibra dura vegetal, Hueso, Madera
- ✓ Residuos alimenticios (restos de comida, frutas)
- ✓ Residuos de jardines (restos de poda de jardines ò de áreas verdes)
- ✓ Cuero
- ✓ Algodón
- ✓ Pluma (pelos)

**A.2 Reciclables:** estos pueden ser:

- ✓ Papel: papel blanco, papel periódico, papel mixto, papel film.
- ✓ Cartón: cartón marrón, cartón blanco, cartón mixto.
- ✓ Vidrio: vidrio blanco, vidrio marrón, vidrio verde.
- ✓ Plástico: PET (Tetrafelato de polietileno), PEAD (HDPE)(Polietileno de alta densidad), PVC (Polocloruro de vinilo), PEBD ó LDPE (Polietileno de baja densidad), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), ABS (Acrilonitrilo, el butadieno y el estireno.)
- ✓ Tetrapack
- ✓ Latas (Aluminio)
- ✓ Fierro

**B. Residuos no aprovechables:** tenemos bolsas plásticas (bolsas), envoltura de golosinas, tecknopor, pilas, batería, carbón, ceniza, telas, textiles, porcelana, loza, residuos de construcción, cobre, jebe, material inerte (tierra, piedras).

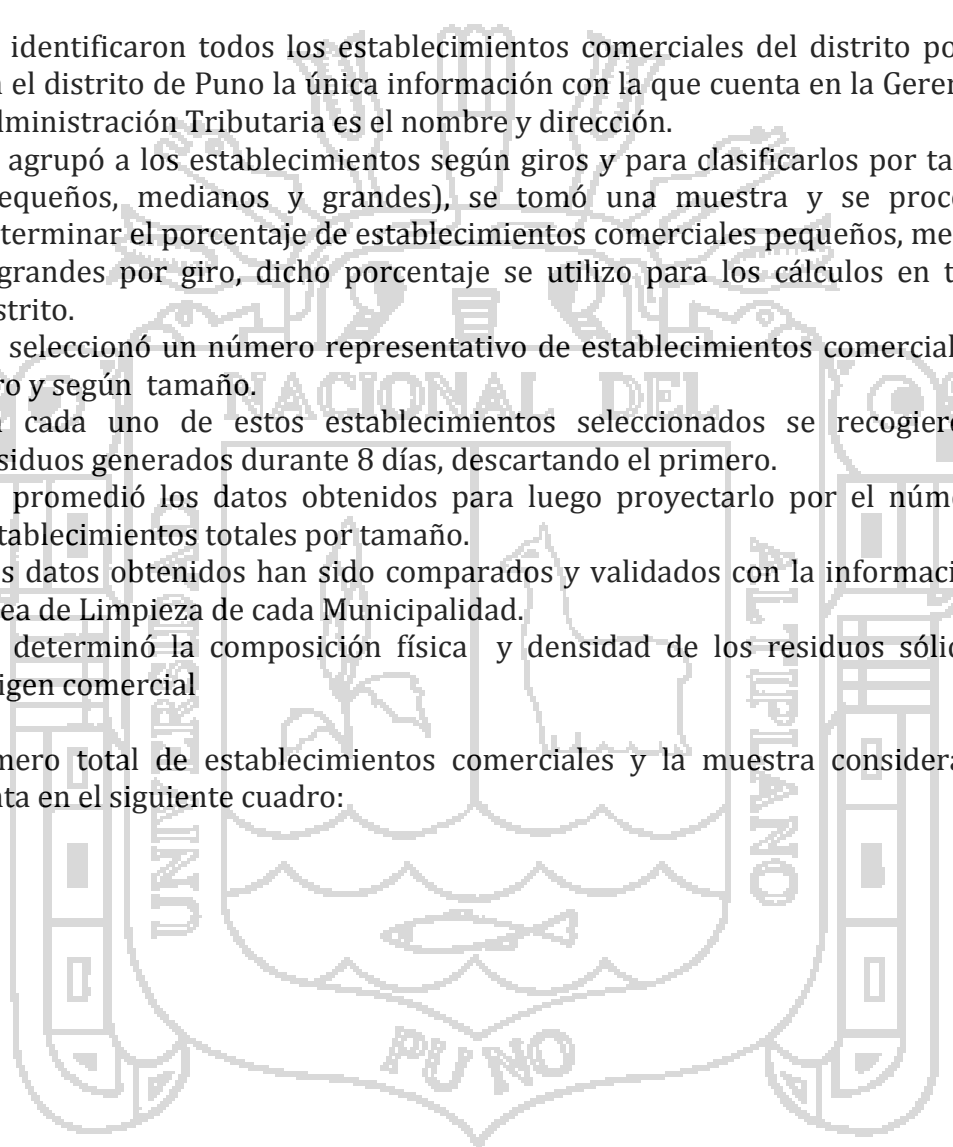
**C. Residuos sólidos peligrosos:** tenemos envases con aceites quemados, envases de reactivos, envases de insecticidas, focos, fluorescentes, pintura, sintético, cerámica, papel higiénico, toalla higiénica, pañal.

#### 4.4 Caracterización de residuos comerciales

La metodología utilizada para determinar la proyección de la generación de residuos comerciales, se presenta a continuación:

- Se identificaron todos los establecimientos comerciales del distrito por giro. En el distrito de Puno la única información con la que cuenta en la Gerencia de Administración Tributaria es el nombre y dirección.
- Se agrupó a los establecimientos según giros y para clasificarlos por tamaños (pequeños, medianos y grandes), se tomó una muestra y se procedió a determinar el porcentaje de establecimientos comerciales pequeños, medianos y grandes por giro, dicho porcentaje se utilizó para los cálculos en todo el distrito.
- Se seleccionó un número representativo de establecimientos comerciales por giro y según tamaño.
- En cada uno de estos establecimientos seleccionados se recogieron los residuos generados durante 8 días, descartando el primero.
- Se promedió los datos obtenidos para luego proyectarlo por el número de establecimientos totales por tamaño.
- Los datos obtenidos han sido comparados y validados con la información del Área de Limpieza de cada Municipalidad.
- Se determinó la composición física y densidad de los residuos sólidos de origen comercial

El número total de establecimientos comerciales y la muestra considerada se presenta en el siguiente cuadro:





**Cuadro N° 3: Establecimientos comerciales y número de muestras**

| Giro                              | Área (m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup> | Número de establecimientos <sup>4</sup> | Comercios a considerar considerando el 35% adicional |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Agencia de viajes                 | 0-30                                | 180                                     | 5  |
| Bazar                             | 0-30                                | 233                                     | 6  |
|                                   | 30-100                              | 93                                      | 2  |
| Botica                            | 0-30                                | 67                                      | 2  |
|                                   | 30-100                              | 68                                      | 2  |
| Estudio fotográfico               | 0-30                                | 23                                      | 1  |
|                                   | 30-100                              | 53                                      | 2  |
| Ferretería                        | 0-30                                | 79                                      | 2  |
|                                   | 30-100                              | 79                                      | 2  |
| Librería                          | 0-30                                | 21                                      | 1  |
|                                   | 30-100                              | 82                                      | 2  |
| Locutorios e internet             | 0-30                                | 140                                     | 4  |
|                                   | 30-100                              | 60                                      | 2  |
| Minimarket                        | 100-1000                            | 25                                      | 1  |
| Panadería o pastelería o baquería | 0-30                                | 22                                      | 1  |
|                                   | 30-100                              | 197                                     | 6  |
| Peluquería-salón de belleza       | 0-30                                | 122                                     | 3  |
| Sastrería                         | 0-30                                | 34                                      | 1  |
| Tienda                            | 0-30                                | 386                                     | 11   |
|                                   | 30-100                              | 526                                     | 15   |
|                                   | 100-1000                            | 105                                     | 3  |
| Restaurante                       | 1000                                | 27                                      | 1  |
|                                   | 30-100                              | 44                                      | 2  |
|                                   | 100-1000                            | 165                                     | 5  |
| Hospedaje                         | 1000                                | 11                                      | 0  |
|                                   | 30-100                              | 12                                      | 0  |
| Carpintería                       |                                     | 8                                       | 0  |
| Comerciales                       |                                     | 13                                      | 0  |
| Grifo                             |                                     | 2                                       | 0  |
| Recreación                        |                                     | 3                                       | 0  |
| Repuestos                         |                                     | 3                                       | 0  |
| Veterinaria                       |                                     | 3                                       | 0  |
| TOTAL                             |                                     | 2883                                    | 82   |

#### 4.5 Caracterización de residuos de mercados

Se realizó las siguientes actividades:

- Identificar todos los mercados de abasto del distrito (nombre, dirección y número de asociados), esta información fue proporcionada por el área de comercialización de la Municipalidad.
- Validar la información proporcionada por el Municipio con algunas visitas a campo y entrevistas con representantes de asociaciones de mercados del distrito.
- Visitar los mercados del distrito y averiguar el número de puestos de cada uno de ellos.
- Seleccionar un mercado representativo para el estudio y definir, junto a los dirigentes, el horario y modalidad del muestreo a desarrollar.

<sup>12</sup> La clasificación por tamaños (pequeños, medianos y grandes), fue realizada por el equipo técnico ya que la municipalidad no cuenta con esa información.

<sup>13</sup> Dato obtenido de la base de datos proporcionado por la Gerencia de Administración Tributaria.

- En el mercado seleccionado se pesaron los residuos generados durante 7 días.
- Luego se calcularon la cantidad de residuos sólidos generados por puesto para después proyectarlos por el número total de puestos en cada uno de los mercados.
- Los datos obtenidos se compararon y validaron con la información del área de Limpieza de la municipalidad distrital de Puno.

Los mercados del distrito se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 4: Número de puestos de los mercados del distrito de Puno**

| Nombre del Mercado | Nro. de Puestos <sup>14</sup> |
|--------------------|-------------------------------|
| Central            | 425                           |
| Laycacota          | 778                           |
| Bellavista         | 250                           |
| Unión Dignidad     | 606                           |

#### 4.6 Caracterización de residuos de instituciones educativas

La metodología utilizada para determinar la proyección de la generación de residuos de instituciones educativas se presenta a continuación:

- Se identificaron todas las instituciones educativas del distrito, información que fue obtenida de la página web del Ministerio de Educación.
- Se seleccionan las instituciones educativas más representativas por cada por cada nivel, se procede a conversar con los directores con el fin de explicarles la importancia del proyecto y la información que se le solicita es el número total de alumnos, personal docente y administrativa del plantel para determinar la gpc por alumno y así proyectar la generación total de instituciones educativas en el distrito.
- En cada una de las instituciones educativas se recogieron diariamente los residuos generados durante 8 días, descartando el primero.

Las instituciones educativas muestreadas se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 5: Instituciones educativas muestreadas**

| Nombre                      | Nivel      | N° de alumnos personal docente y administrativo <sup>15</sup> |
|-----------------------------|------------|---|
| I.E.I 192                   | Inicial    | 253   |
| 71001 Almirante Miguel Grau | Primaria   | 1 164   |
| Glorioso San Carlos         | Secundaria | 1 649   |

<sup>14</sup> Información reportada por los administradores de cada mercado.

<sup>15</sup> Dato obtenido de la Dirección de cada una de las Instituciones Educativas muestreadas.

#### 4.7 Caracterización de residuos de instituciones

La metodología utilizada para determinar la proyección de la generación de residuos de instituciones consistió en seleccionar las instituciones más representativas del distrito.

- En recoger los residuos diariamente de la Municipalidad Distrital de Puno, generados durante 8 días, descartando la muestra del primer día.
- En calcular la generación de residuos sólidos en el local del Gobierno Regional de Puno y en la Universidad del Altiplano.

#### 4.8 Caracterización de residuos de barrido de calles

La metodología utilizada para determinar la proyección de la generación de residuos de barrido de calles consistió:

- En pesar los residuos generados diariamente de dos rutas de barrido, esto por el lapso de 7 días. Se considera que cada una de las rutas de barrido tienen la misma distancia, por lo cual la proyección de la generación se realizará multiplicando el total de rutas (21) por el promedio generado en cada ruta analizada.

#### 4.9 Programas de seguridad e higiene

Durante el estudio de caracterización de residuos, se tomó las medidas necesarias para prevenir cualquier riesgo de accidentes.

Se consideró, como parte del Taller de Capacitación del equipo del estudio, el tema de seguridad e higiene en el manejo de los residuos, incidiendo en la sensibilización, la prevención y la importancia del uso del equipo de protección personal, la desinfección e higiene de las botas y guantes después de cada día de trabajo.

El personal técnico y los operarios, luego de las charlas y orientaciones respectivas, utilizó todo el equipo de protección personal necesario, tales como:

- Mandil de plástico
- Mascarillas de filtro mecánico
- Guantes de nitrilo
- Botas de jebe

Adicionalmente, en la zona de pesaje, se contó con lejía, jabones medicados y alcohol para el aseo del personal obligatorio y la desinfección al final de cada jornada. También se contó con un botiquín de primeros auxilios.

#### 4.10 Logística utilizada para el estudio

Para el cumplimiento de los objetivos del estudio de caracterización de residuos sólidos, en promedio se utilizaron los siguientes recursos y materiales.

**A. Recursos Humanos**

- ✓ 01 técnico responsable.
- ✓ 01 coordinador.
- ✓ 02 encuestadores.
- ✓ 03 conductores de trimóviles.
- ✓ 04 operarios que realizarán la recolección y caracterización de residuos sólidos.

**B. Equipos y Materiales utilizados**

- ✓ 01 Balanza analítica con lectura mínima de 0.01 Kg. y lectura máxima de 40 kg.
- ✓ 01 cámara fotográfica digital Sony Cyber Shot de 7.1 pixeles.
- ✓ 01 cilindro metálico de 200 litros de capacidad.
- ✓ 01 cinta métrica POWER TAPE PROFESSIONAL de 3.0 metros.
- ✓ 01 lámina doble de polietileno de 6 x 4 metros.
- ✓ 03 trimóviles de 1 m<sup>3</sup>. de capacidad.
- ✓ 1,500 bolsas de polietileno de alta densidad (4 PE-HD) de 20 x 30 pulgadas.
- ✓ 04 pares de guantes de nitrilo.
- ✓ 06 mascarillas de filtro mecánico.
- ✓ 04 mandiles de plástico.
- ✓ 04 pares de botas de jebe.
- ✓ Formato de encuesta.
- ✓ Formatos de registro de datos.
- ✓ Planos del área de estudio.

**5. INFORMACIÓN BÁSICA DEL AREA DE ESTUDIO****5.1 Aspectos del ámbito de estudio**

El distrito de Puno se ubica políticamente en la Provincia de Puno, Región de Puno y geográficamente se encuentra ubicado a orillas del Lago Titicaca a 3827 m.s.n.m., en la zona sur Oriental de la República del Perú, El departamento de Puno se encuentra entre las siguientes coordenadas geográficas:

**Cuadro N° 6: Coordenadas geográficas del departamento de Puno**

| Orientación    | Norte       | Este        | Sur         | Oeste       |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Latitud Sur    | 13° 00' 00" | 16° 19' 00" | 17° 17' 30" | 14° 42' 47" |
| Longitud Oeste | 68° 58' 35" | 68° 48' 46" | 69° 43' 48" | 71° 06' 46" |

*Fuente: Plan de Desarrollo Provincial Concertado del departamento de Puno al 2021*

La ciudad de Puno se encuentra a 1,324 kilómetros al sureste de la ciudad de Lima existen tres vías para acceder a la ciudad:

- Vía terrestre: Desde la ciudad de Lima, el viaje terrestre dura 17 horas previa escala en la ciudad de Arequipa.
- Vía aérea: Vuelos regulares a Juliaca desde Lima (1 hora 45 minutos, con escala en Arequipa o Cusco)
- Vía Férrea: Desde la ciudad de Cusco - Puno: 384 km (10 horas).

### A. Superficie

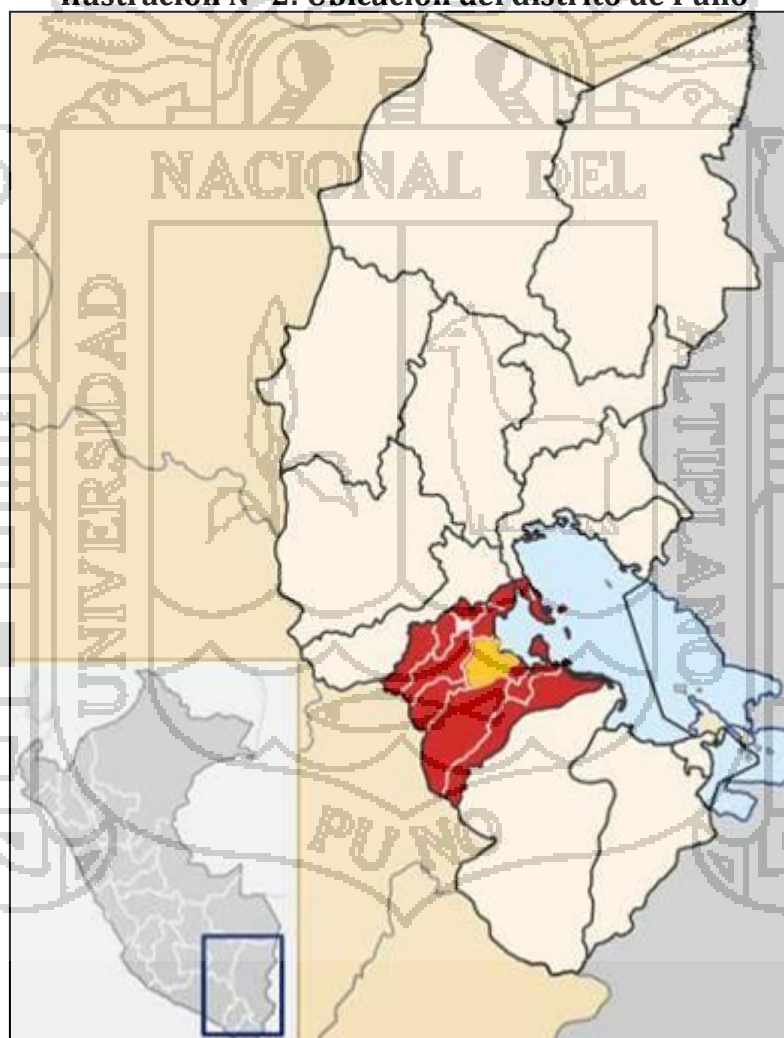
La superficie del distrito de Puno, de acuerdo a los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es de 360,75 km<sup>2</sup>.

### B. Límites

Los límites del distrito de Puno son:

- Norte : Distrito de Paucarcolla y el Lago Titicaca
- Este : Distrito de Chucuito y el lago Titicaca
- Sur : Distrito de Laraqueri
- Oeste : Distrito de Tiquillaca y San Antonio

**Ilustración N° 2: Ubicación del distrito de Puno**



Fuente: <http://desa.inei.gob.pe/mapas/bid/>

## 5.2 Aspectos ambientales

### A. Clima

La temperatura máxima es de 22 C, y la mínima de 14°C. La temperatura media en Puno (ciudad capital) en verano es de 15º a 22º en invierno de 5º a 16º gracias al efecto térmico que produce el lago Titicaca que durante el día recolecta el calor del sol y en las noches lo libera, haciendo que ésta goce de un clima más cálido que las otras ciudades del altiplano como Juliaca.

Las precipitaciones pluviales se presentan entre los meses de diciembre a marzo y varían frente a la influencia de fenómenos naturales como la presencia de El Niño, que induce sequía en el Sur peruano.

### **B. Suelos<sup>16</sup>**

#### **- Morfología**

Las zonas más bajas y próximas al lago son zonas favorables para la agricultura. La influencia climática del Titicaca cuyas fuentes de humedad modifican la extrema sequedad de la puna, es la determinante para el desarrollo de la actividad agrícola.

El relieve del suelo es accidentado, con una menor proporción semiplano sobre todo en las cercanías del Lago. La ciudad capital se encuentra al pie del cerro Azoguine y a orillas del Lago Titicaca.

#### **- Topografía**

La altitud es un factor decisivo en la geografía puneña. El plano más bajo es el que está en los contornos del Titicaca cuyas riberas están a 3812 m.s.n.m., desde donde empieza a elevarse en un plano inclinado suave alcanzando rápidamente altitudes graduales hasta los 3900 y los 4000 m.s.n.m. que puede ser considerado el límite máximo. Dentro del rango de menor altitud es posible el desarrollo de las actividades agrícolas y de las actividades pecuarias; a esta zona se denomina circunlacustre. Presenta una zona intermedia con quebradas, cuencas propicia para desarrollar actividades agropecuarias y finalmente una zona alta donde solo es posible desarrollar la actividad alpaquera.

### **I.**

### **C. Recursos Naturales**

Los recursos naturales del distrito de Puno son:

#### **- Flora**

Debido a las características de la zona la flora no es muy variada pero destacan algunas poaceas Chillihua (*Festuca rigescens*), *Festuca ortophylla*, *Jarava ichu*, también se desarrollan especies vegetales representativas, como la Totora (*Scirpus californicus*) y el Llacho (*Elodea potamogeton*) de gran importancia socioeconómica. A causa de la eutrofización cultural se ha provocado la abundancia de la *Lemna sp.* y el deterioro el paisaje lacustre.

#### **- Fauna**

<sup>16</sup> Información obtenida del *Plan de Desarrollo Provincial Concertado del departamento de Puno al 2021*

Entre la fauna se diferencian especies ícticas del género *Orestias*, Suche (*Trychomicterus rivulatum*) y otras especies introducidas como la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y Pejerrey (*Basilichthys bonaerensis*), estimándose una biomasa entre 60 a 90 mil toneladas en el lago Titicaca, este ecosistema brinda refugio a numerosas aves, la especie más representativa es el Flamenco (*Phoenicopterus chilensis*). Entre las especies de mamíferos tenemos Vizcacha (*Lagidium peruanum*), Cuy silvestre (*Cavia tschudii*) y el Zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*).

### 5.3 Aspecto demográfico

Según el INEI<sup>17</sup> en el XI de Población y VI de Vivienda del 2007, el distrito de Puno en la zona urbana alberga una población de 120 229 habitantes, considerando el censo de 1993 y del año 2007 se tiene una tasa de crecimiento de 1,94%, por tanto la población proyectada para el año 2010 es de 127 362 habitantes.

**Cuadro N° 7: Características de la Población**

| Aspecto poblacional                     | Datos   |
|---|---------|
| Población Censo 1993                    | 91 877  |
| Población Censo 2007                    | 120 229 |
| Tasa de crecimiento poblacional         | 1,94%   |
| Población proyectada al año 2010        | 127 362 |
| N° de Viviendas Censo 1993              | 21 372  |
| N° de Viviendas Censo 2007              | 38 665  |
| Tasa de crecimiento de viviendas        | 5,78%   |
| N° de viviendas proyectadas al año 2010 | 42 371  |

*Fuente: INEI censos 1993, 2007*

### 5.4 Actividades socio económicas

Las principales actividades económicas en el distrito de Puno son:

#### A. Agropecuaria

La actividad agropecuaria es la principal ocupación en la región, pese a las frecuentes heladas, sequías o inundaciones. El trabajo agrícola tiene un carácter estacional, se espera las lluvias para poder cultivar, lo que afecta la economía de la población.

Se siembra papa, quinua, cebada, cañihua, oca y habas. Es el primer productor de ovinos y auquénidos y, por tanto, de lana, en el país es el segundo productor nacional de truchas para exportación.

<sup>17</sup> INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

## B. Turismo

El distrito de Puno es la capital folclórica del Perú por la variedad y belleza de su música y sus danzas, su geografía hacen que el turismo sea una actividad económica importante. Entre las principales fiestas tradicionales, se tiene:

**Cuadro N° 8: Información Turística**

| Fiestas Tradicionales                            | Fecha            |
|--|------------------|
| Fiesta Patronal Virgen de la Candelaria          | Febrero 2        |
| Fiesta de Alacitas y las Cruces                  | Mayo 3 al 4      |
| Aniversario de la Fundación de la ciudad de Puno | Noviembre 1 al 7 |

*Fuente:* <http://www.vivenciaandina.com/viajes-a-peru/puno-lago-titicaca.htm>

### 5.5 Indicadores de salud

En la provincia de Puno se tiene 75 establecimientos de salud dentro de ellos 1 Hospital, 17 Centros de Salud y 57 Puestos de Salud, que están al servicio de la población.

Las principales enfermedades reportadas por el Ministerio de Salud para el ámbito de estudio son las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs), enfermedades infecciosas intestinales, ver cuadro N° 9.

**Cuadro N° 9: Morbilidad en la provincia de Puno**

| N° | Causas de morbilidad  | Total   |      |
|----|---|---------|------|
|    |   | N°      | %    |
| 1  | Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores                         | 239 655 | 28,6 |
| 2  | Enfermedades de la cavidad bucal, de las glándulas salivales y de los maxilares | 99 764  | 11,9 |
| 3  | Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores                   | 43 487  | 5,2  |
| 4  | Enfermedades infecciosas intestinales   | 28 965  | 3,5  |



**Cuadro N° 9: Morbilidad en la provincia de Puno (continuación)**

| N° | Causas de morbilidad  | Total          |               |
|----|---|----------------|---------------|
|    |   | N°             | %             |
| 5  | Enfermedades del esófago, del estómago y del duodeno  | 27 645         | 3,30          |
| 6  | Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores                                      | 27 540         | 3,30          |
| 7  | Trastornos de otras glándulas endocrinas  | 24 659         | 2,90          |
| 8  | Trastornos de la conjuntiva   | 22 806         | 2,70          |
| 9  | Dermatitis y eczema   | 21 423         | 2,60          |
| 10 | Otras enfermedades del sistema urinario   | 21 040         | 2,50          |
| 11 | Otras dorsopatías   | 15 362         | 1,80          |
| 12 | Helmintiasis  | 11 999         | 1,40          |
| 13 | Micosis   | 11 182         | 1,30          |
| 14 | Obesidad y otros tipos de hiperalimentación   | 10 294         | 1,20          |
| 15 | Traumatismos de la cabeza   | 10 268         | 1,20          |
| 16 | Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte | 25 395         | 3,00          |
| 17 | Las demás causas  | 196 046        | 23,40         |
|    | <b>TOTAL</b>  | <b>837 530</b> | <b>100,00</b> |

Fuente: <http://www.minsa.gob.pe/portada/estadistica.htm>

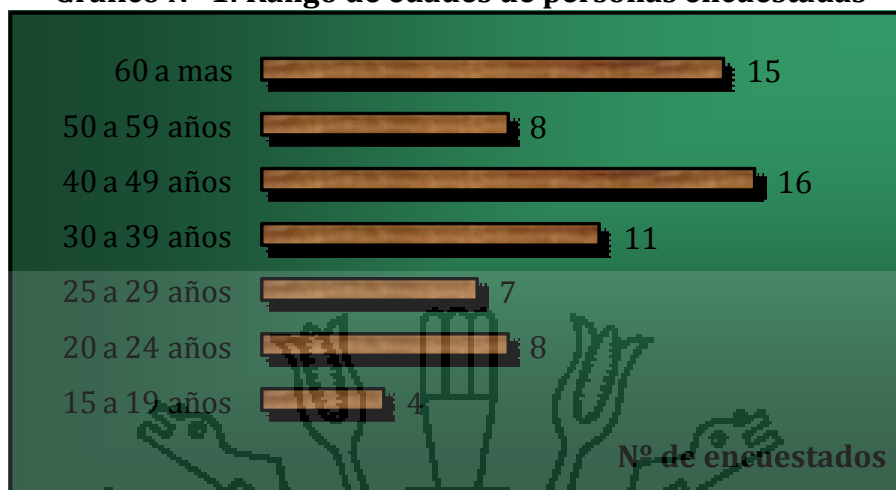
## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

### 6.1 Encuestas a la población

La opinión de la población es muy importante para la toma de decisiones de las autoridades, para lo cual se realizaron encuestas a los habitantes de las viviendas que participaron en el estudio de caracterización. La encuesta aplicada se agrupa en los siguientes grupos:

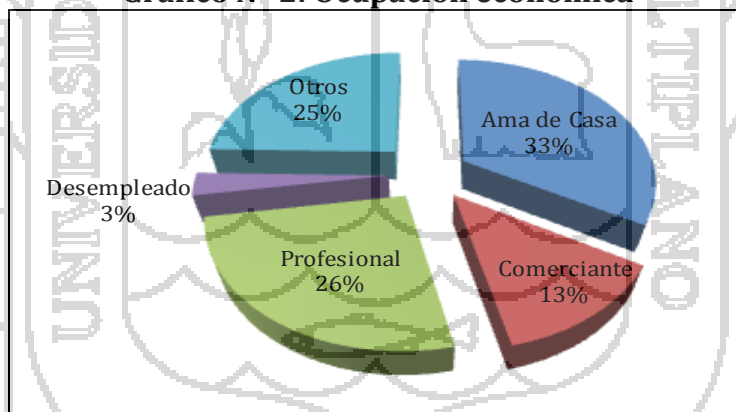
#### A. Información General de los encuestados.-

El gráfico N° 1 da a conocer entre que edades fluctúan las personas encuestadas, así se encontró que 23 % se encuentran entre 40 y 49 años, si a esto sumamos el porcentaje de la población cuyos rangos de edad van de 50 a más años podemos afirmar que el 57% de la población encuestada es mayor de 40 años.

**Gráfico N° 1: Rango de edades de personas encuestadas**

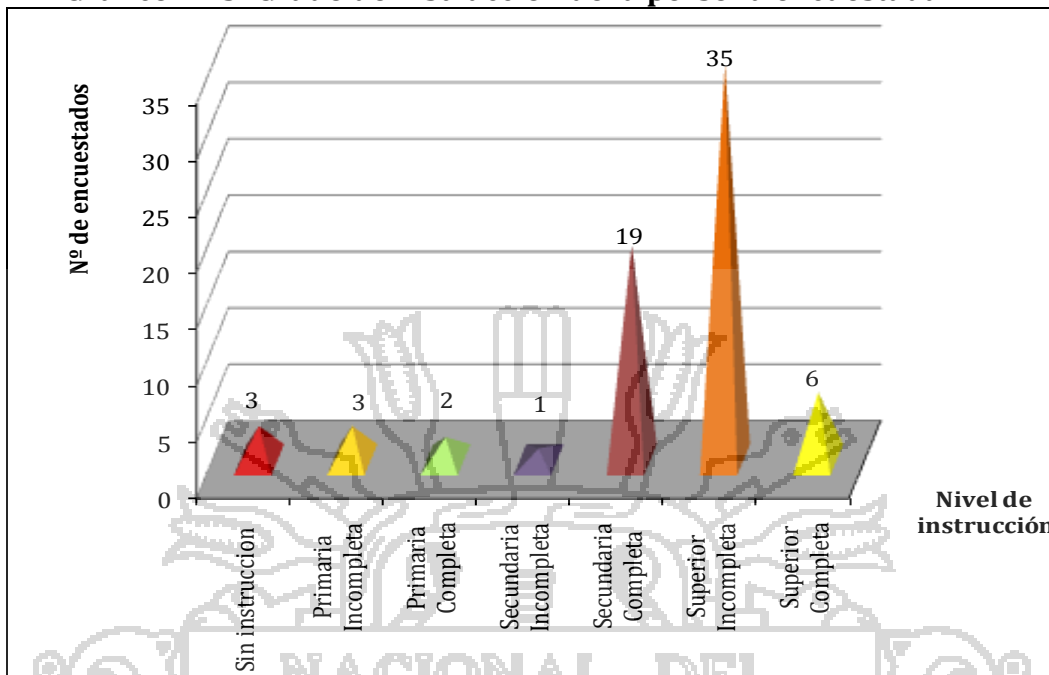
El mayor porcentaje de la población entrevistada pertenece al sexo femenino con un 66% de prevalencia sobre el sexo masculino, esto principalmente se debe a que las mujeres se quedan en casa realizando las tareas del hogar.

En cuanto a la ocupación económica 33% son ama de casa, 26% son profesionales, 13% son comerciantes, 3% son desempleados y 25% tienen otras ocupaciones, ver gráfico N° 2)

**Gráfico N° 2: Ocupación económica**

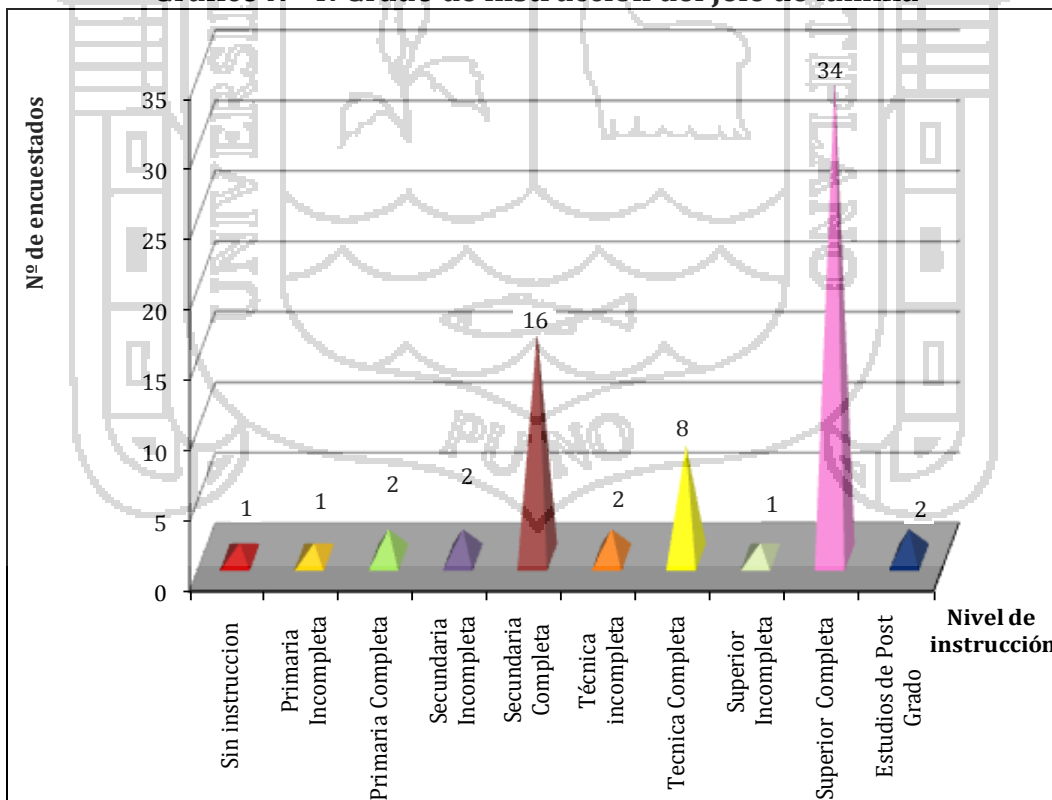
En el gráfico N° 3 se observa el nivel de instrucción de las personas encuestadas, el 51% tiene nivel superior incompleto, 28% tiene secundaria completa, 9 % tiene superior completa, 4% tiene primaria incompleta, 4% no cuenta con instrucción, 3% tiene primaria completa y el 1% restante tiene secundaria incompleta.

**Gráfico N° 3: Grado de instrucción de la persona encuestada**



En el gráfico N° 4 se observa el nivel de instrucción del jefe de familia, el 49% tiene nivel superior completo, 23% tiene secundaria completa, 12 % tiene carrera técnica completa y el 16% restante tiene otros niveles de instrucción.

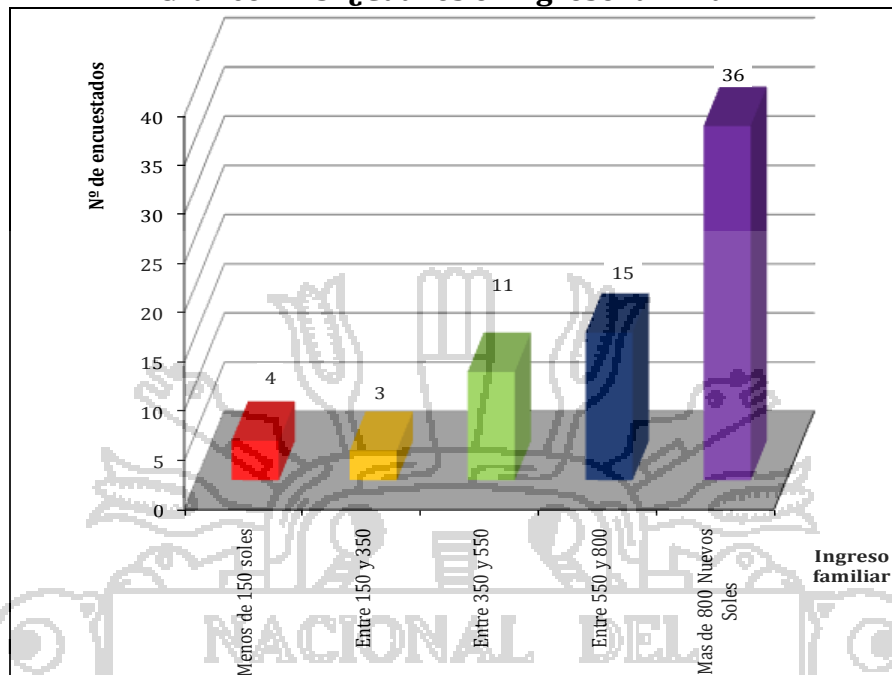
**Gráfico N° 4: Grado de instrucción del jefe de familia**



A la pregunta ¿Cuál es el ingreso familiar? 52% gana más de 800 nuevos soles, 22% gana entre 550 y 800 nuevos soles, 16% entre 350 y 550 nuevos soles, 4% entre

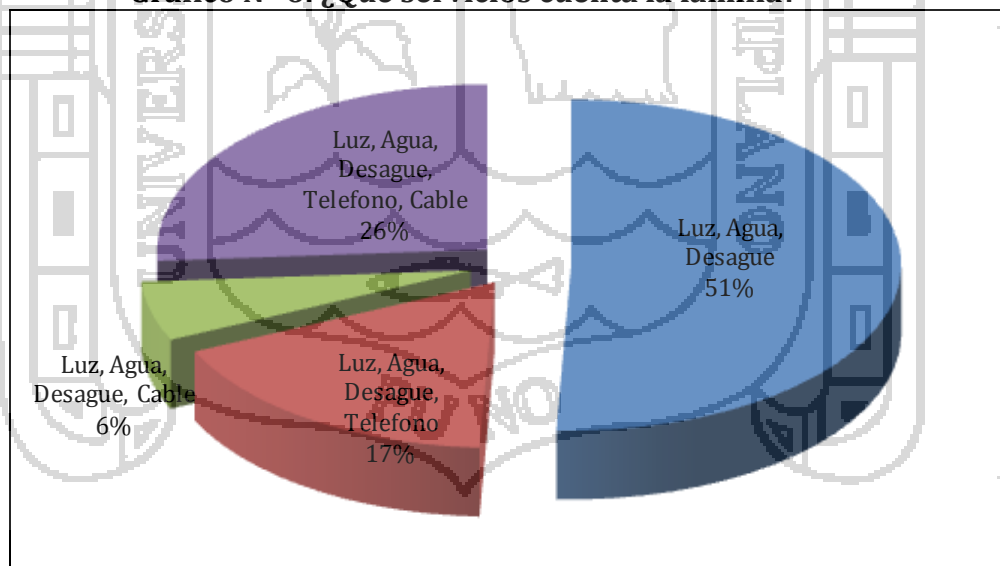
150 y 350 nuevos soles y el 6 % restante gana menos de 150 soles (Ver gráfico N° 5).

**Gráfico N° 5: ¿Cuál es el ingreso familiar?**



A la pregunta ¿Qué servicios cuenta la familia? La mayoría menciona que tiene luz, agua y desagüe y la minoría menciona tener luz, agua, desagüe, y cable (Ver gráfico 6).

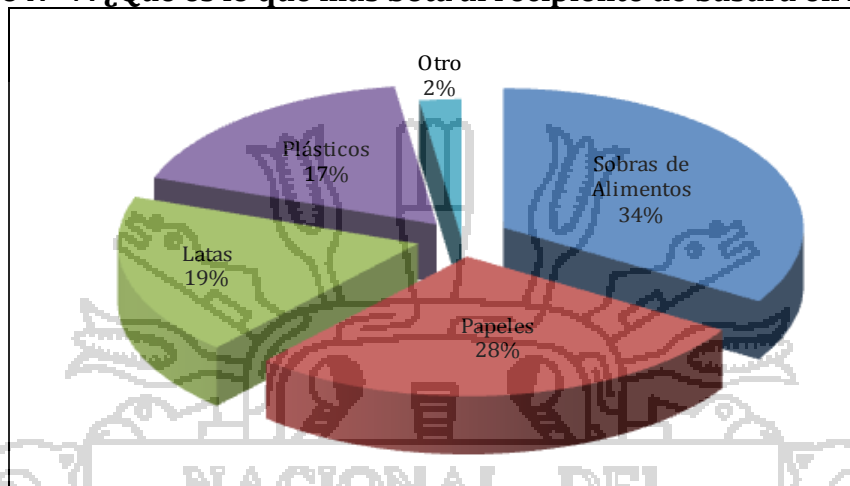
**Gráfico N° 6: ¿Qué servicios cuenta la familia?**



### ***Generación de residuos sólidos***

Ante la pregunta ¿Qué es lo que más bota al recipiente de basura en la casa?, La mayoría menciona arrojar sobras de alimentos, mientras que una minoría menciona arrojar tierra, cartones, etc. (Ver gráfico N° 7).

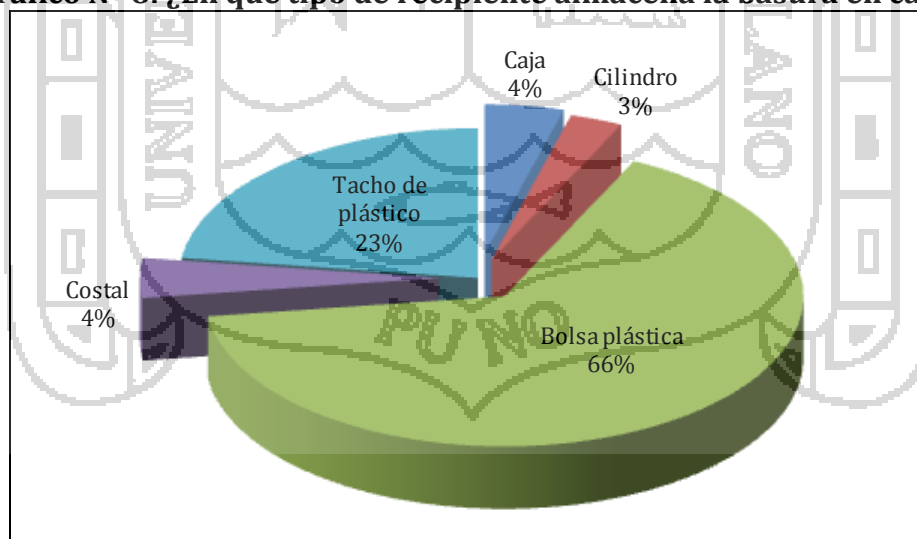
**Gráfico N° 7: ¿Qué es lo que más bota al recipiente de basura en la casa?**



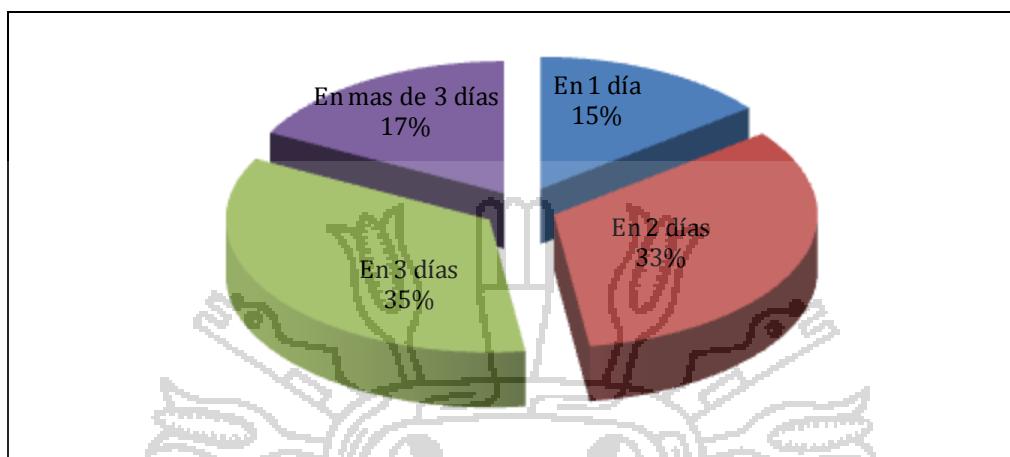
### ***B. Almacenamiento y recolección de residuos sólidos***

Se preguntó a la población respecto al tipo de recipiente que utiliza para almacenar los residuos, la gran mayoría manifiesta que almacena sus residuos en bolsas plásticas, un porcentaje menor manifiesta que almacena en cilindros. (Ver gráfico N° 8)

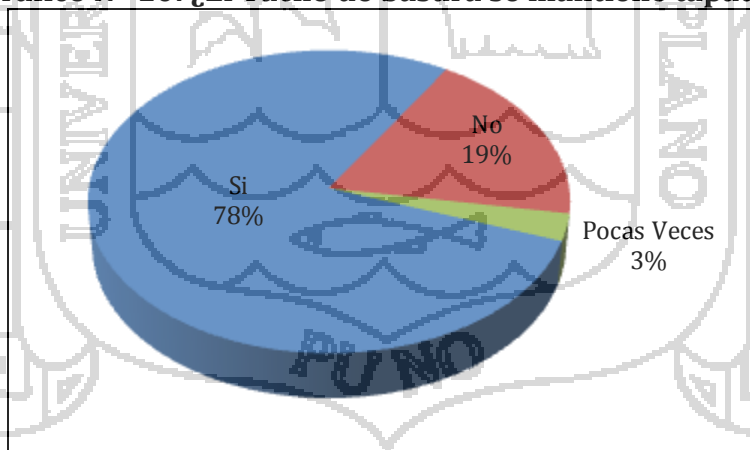
**Gráfico N° 8: ¿En qué tipo de recipiente almacena la basura en casa?**



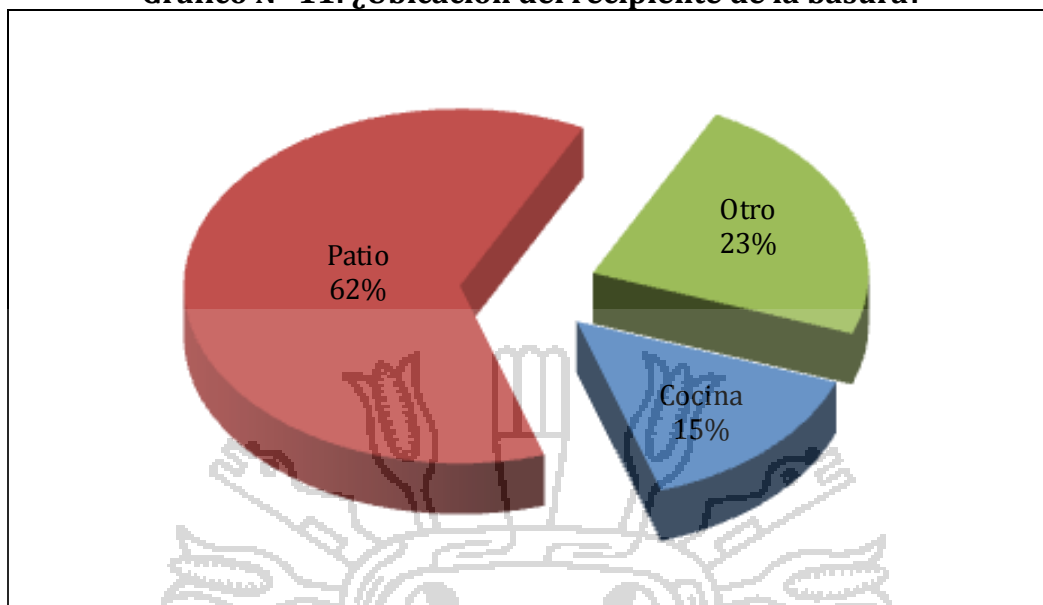
La mayoría de los vecinos del distrito de Puno manifiesta que los recipientes de almacenamiento se llenan con una frecuencia superior a dos días, en contrapartida la población restante manifiesta que se llena en menos de un día. (Ver gráfico N°9).

**Gráfico N° 9: ¿Cada cuántos días se llena el tacho de basura?**

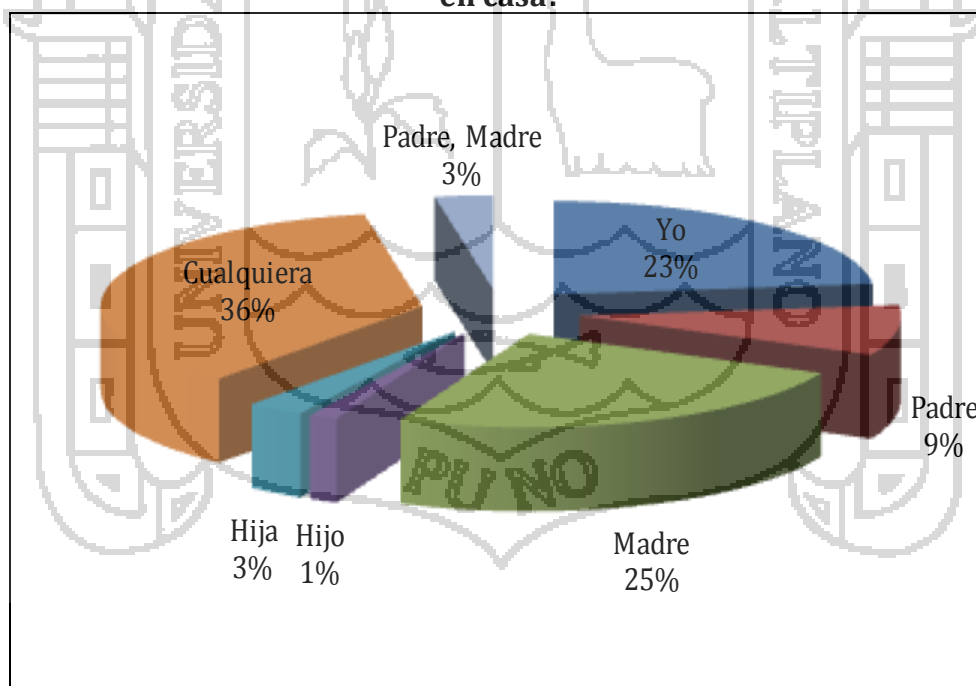
Para poder garantizar la salud del poblador y asegurar las condiciones sanitarias de las viviendas, los residuos sólidos deben ser almacenados adecuadamente, los recipientes deben tener tapas para evitar la proliferación de vectores. En Puno 78% de la población entrevistada manifestó que si mantiene el tacho de basura tapado, 19% manifestó que no lo hace y el 3% restante lo hace pocas veces (Ver gráfico N° 10)

**Gráfico N° 10: ¿El Tacho de basura se mantiene tapado?**

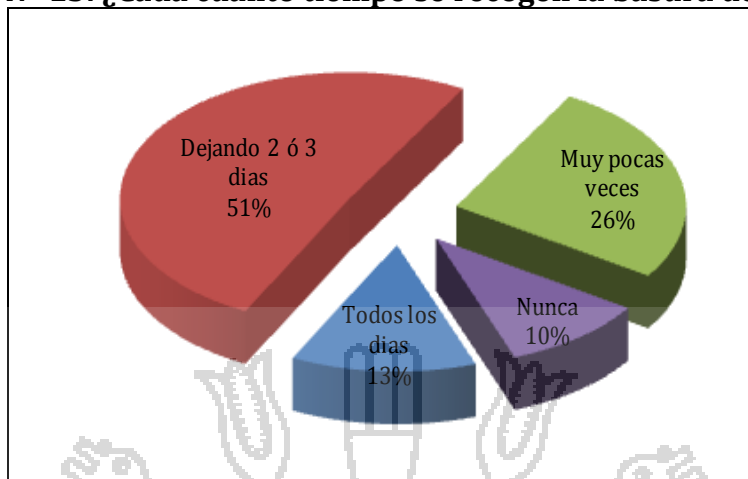
La ubicación del tacho de basura en una vivienda es otro de los criterios para poder conocer las condiciones sanitarias de las viviendas, la gran mayoría de los encuestados respondió que el lugar donde ubican el tacho de basura es el patio de la vivienda. (Ver gráfico N° 11)

**Gráfico N° 11: ¿Ubicación del recipiente de la basura?**

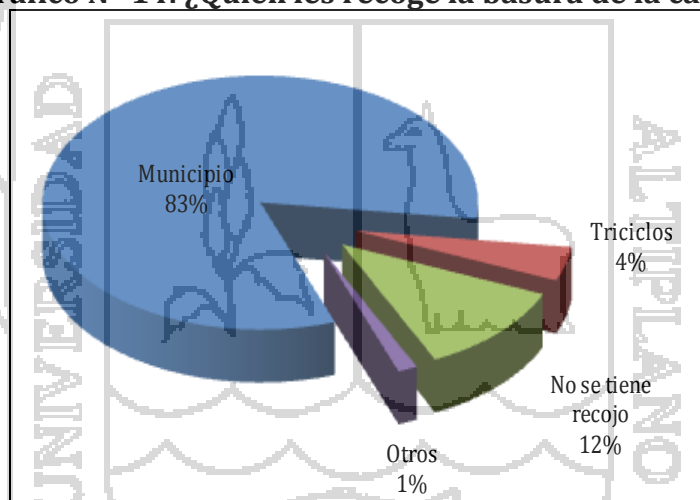
Para saber quién se encarga de manejar los residuos en casa se le pregunto al vecino ¿Quién de la familia se encarga de sacar la basura en casa? A lo cual, la mayoría manifestó que lo hace cualquier integrante de la familia. (Ver gráfico N°12)

**Gráfico N° 12: ¿Quién de la familia se encarga mayormente de sacar la basura en casa?**

Se le preguntó a la población sobre la frecuencia de recojo de basura en su domicilio, a lo cual la mayoría de los encuestados mencionan que les recogen los residuos dejando 2 ó 3 días y la minoría mencionan que no les recogen nunca. (Ver gráfico N° 13)

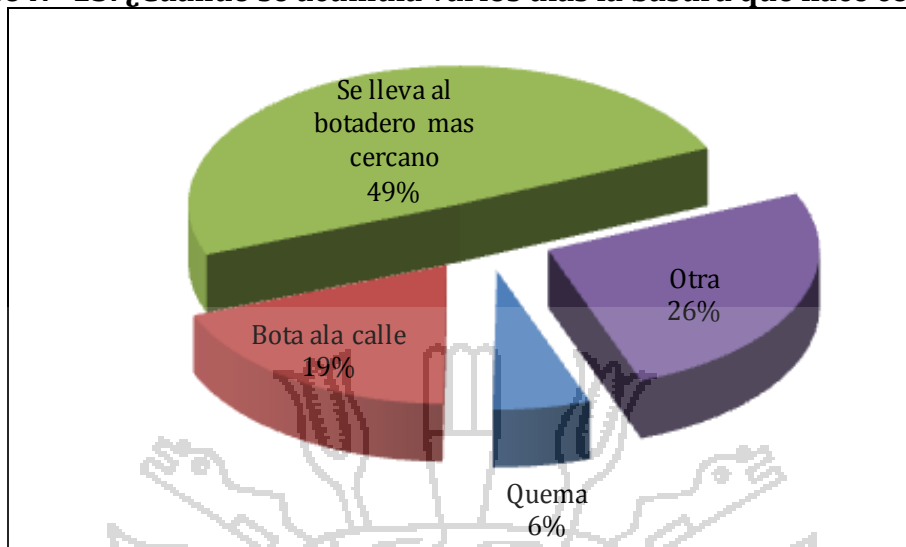
**Gráfico N° 13: ¿Cada cuánto tiempo se recogen la basura de la casa?**

Respecto al servicio de recolección del total de encuestados, la gran mayoría manifestó que el servicio de recolección lo hace la municipalidad, un porcentaje bastante alto manifiesta que no se tiene servicio de recolección. (Ver gráfico N° 14)

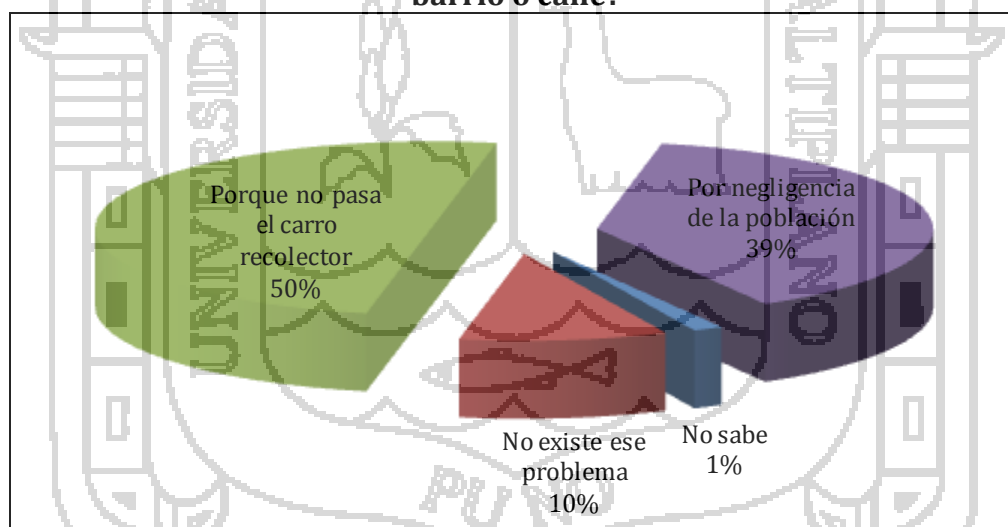
**Gráfico N° 14: ¿Quién les recoge la basura de la casa?**

Para conocer el comportamiento del poblador cuando no les recogen los residuos sólidos se hizo la siguiente pregunta ¿Cuándo se acumula varios días la basura que hace con esta? A lo cual la mayoría manifestó que lo lleva al botadero más cercano y un menor porcentaje manifiesta que lo quema. (Ver gráfico N° 15)



**Gráfico N° 15: ¿Cuándo se acumula varios días la basura que hace con esta?**

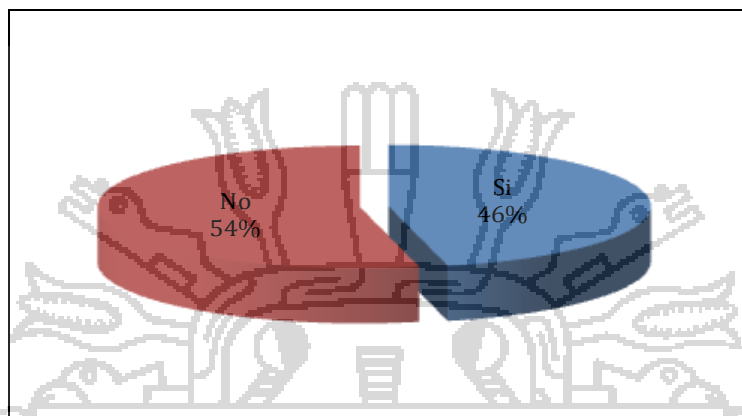
Ante la pregunta ¿Por qué crees que existen acumulaciones de basura en tu barrio? La gran mayoría indicó que se debe a que el carro recolector no pasa y un menor porcentaje menciona que no sabe por qué ocurre la acumulación. (Ver gráfico N° 16)

**Gráfico N° 16: ¿Por qué crees que existen acumulaciones de basura en tu barrio o calle?**

### C. Sobre la segregación y reúso de los residuos sólidos

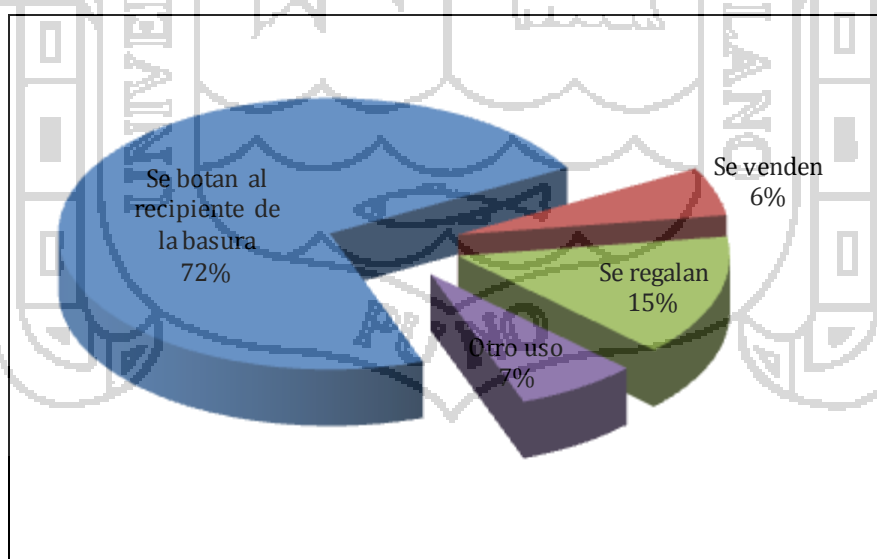
Más de la mitad de los encuestados manifiestan que no utilizan las sobras de las comidas, el porcentaje que manifestó que si lo hacen lo utilizan para alimentar a los animales que tienen en casa, como cuyes y chanchos. (Ver gráfico N° 17)

**Gráfico N° 17: ¿Las sobras de las comidas se utilizan para otra cosa en casa?**

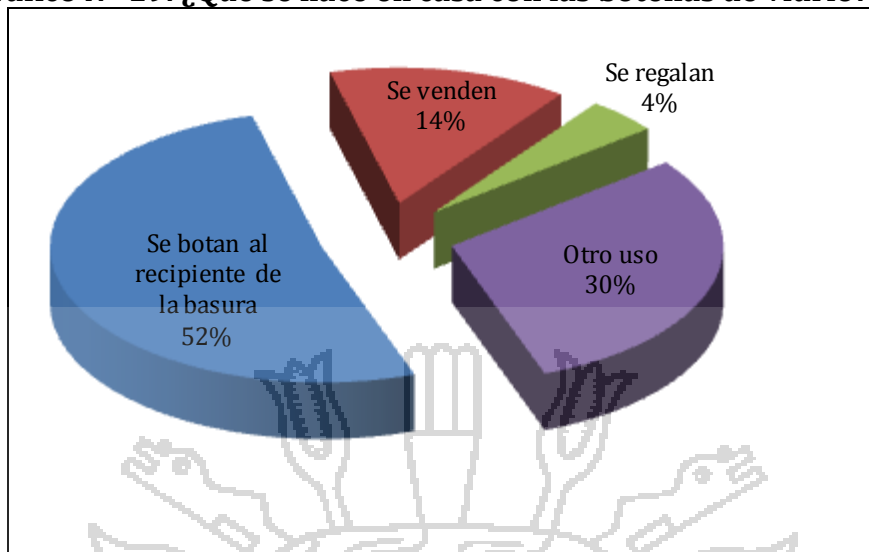


Se le preguntó al poblador qué se hace en su casa con las botellas de plástico usadas, en su gran mayoría las personas respondieron que botan las botellas de plástico al recipiente de la basura y un pequeño porcentaje vende los residuos, ello se puede observar en el gráfico N° 18.

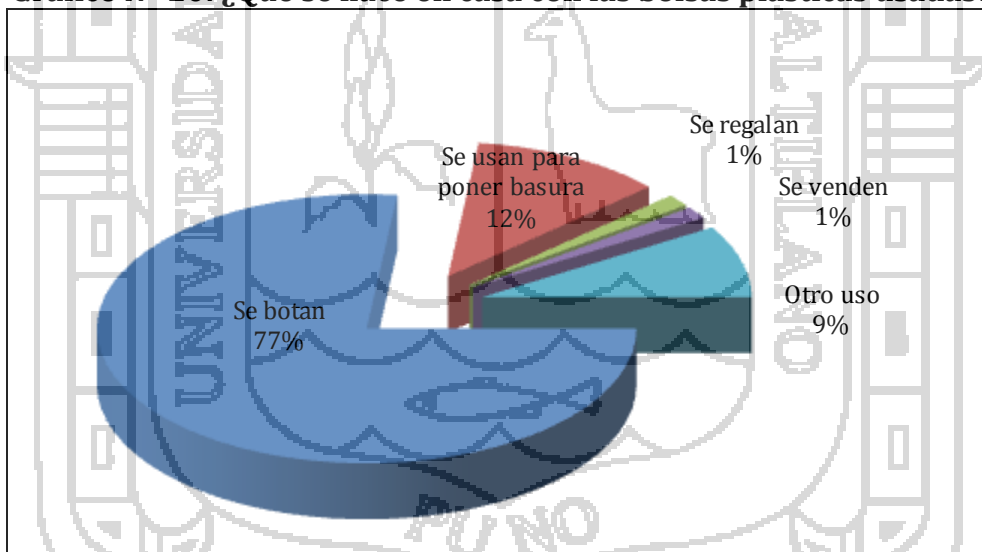
**Gráfico N° 18: ¿Qué se hace en casa con las botellas plásticas vacías?**



Respecto al destino que les dan a las botellas de vidrio vacías, la población encuestada respondió mayoritariamente que las botan al recipiente de la basura, mientras que una menor proporción manifiesta que las regala. (Ver gráfico N° 19)

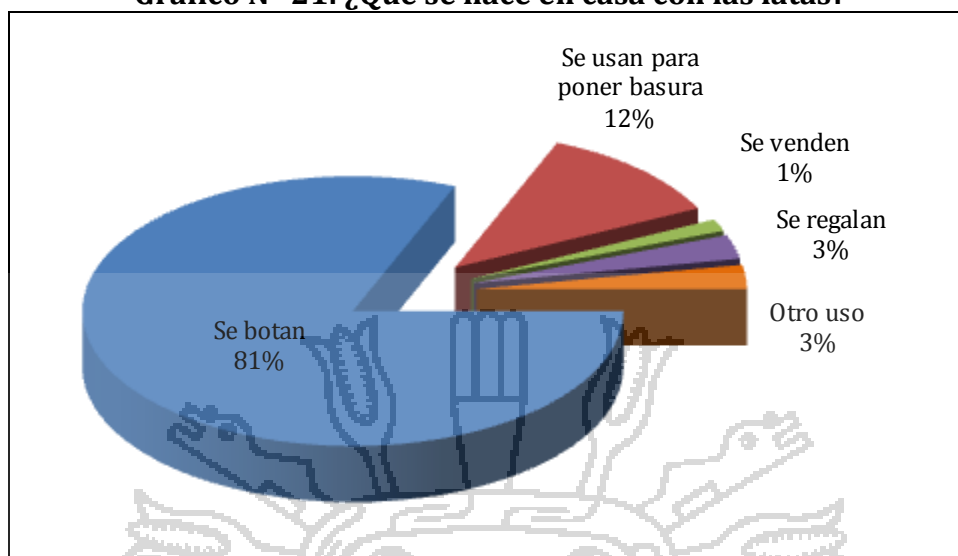
**Gráfico N° 19: ¿Que se hace en casa con las botellas de vidrio?**

En relación al destino que les dan a las bolsas de plástico, la población encuestada respondió mayoritariamente que las botan al recipiente de la basura, mientras que una menor proporción manifiesta que las regalan o las venden. (Ver gráfico N° 20)

**Gráfico N° 20: ¿Qué se hace en casa con las bolsas plásticas usadas?**

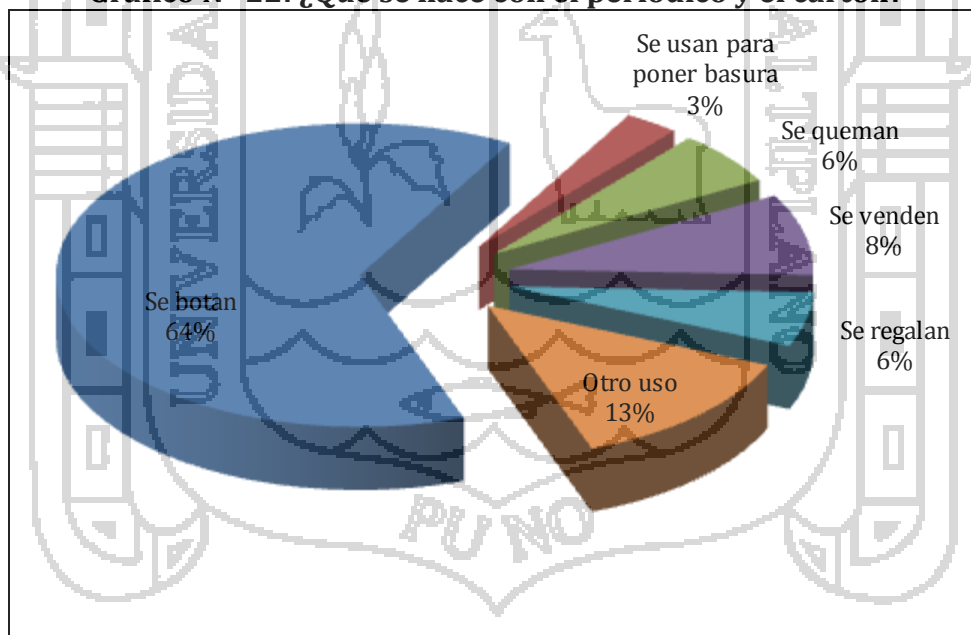
Referente al destino que les dan a las latas, la población encuestada respondió mayoritariamente que las botan al recipiente de la basura, mientras que una menor proporción manifiesta que las venden. (Ver gráfico N° 21)

**Gráfico N° 21: ¿Qué se hace en casa con las latas?**



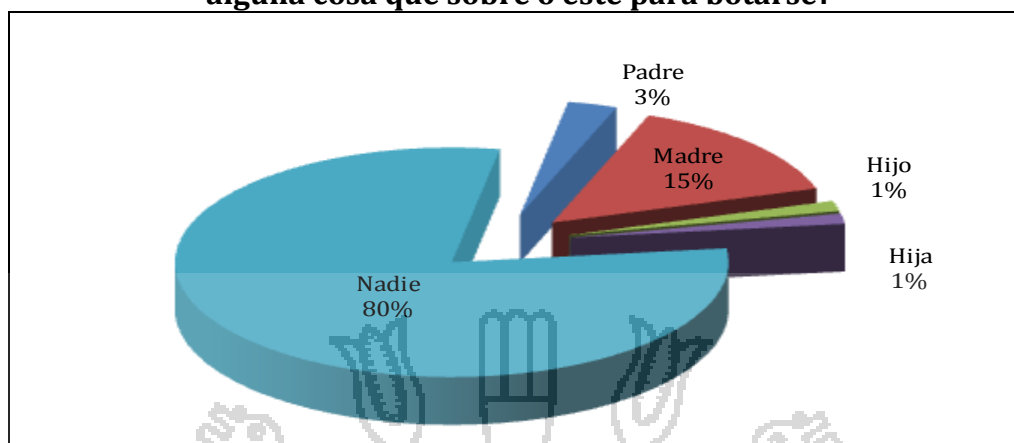
En cuanto al destino que le dan al periódico y al cartón, la población encuestada respondió mayoritariamente que las botan al recipiente de la basura, mientras que una menor proporción manifiesta que las usan para poner basura. (Ver gráfico N° 22)

**Gráfico N° 22: ¿Qué se hace con el periódico y el cartón?**



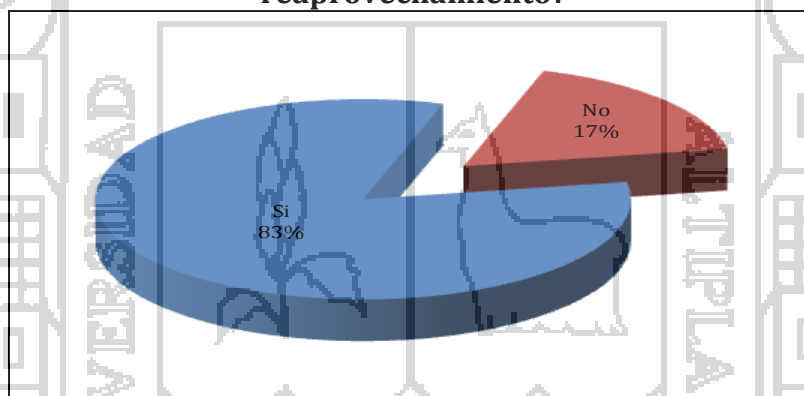
Sobre el trabajo de manualidades con algunos residuos: Se muestra en el gráfico N° 23, la mayoría de los encuestados no realiza ninguna manualidad, pero un menor grupo de los encuestados como el caso de las madres si realizan manualidades con los residuos por botarse.

**Gráfico N° 23: ¿Quién trabaja en la casa algún tipo de manualidades con alguna cosa que sobre o esté para botarse?**

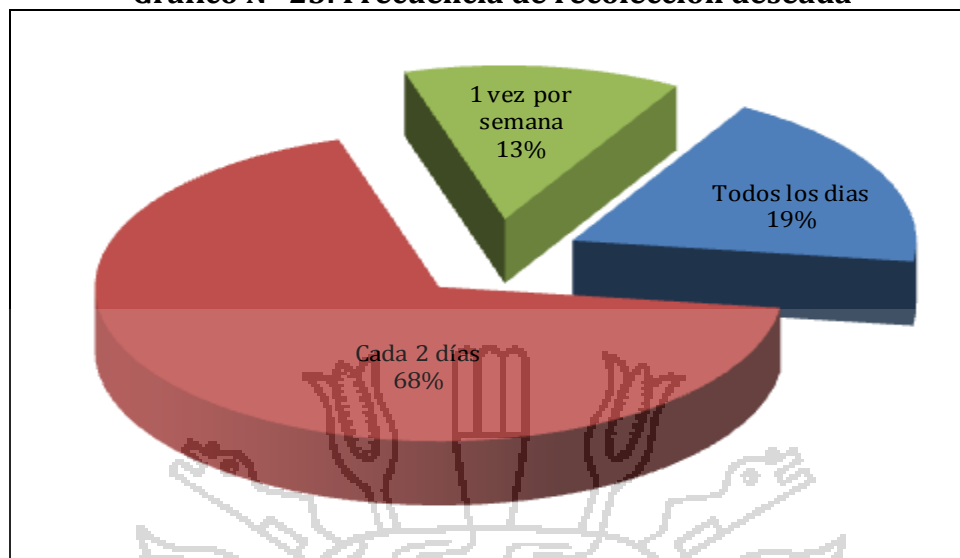


Una gran mayoría de la población encuestada del distrito de Puno, está dispuesta a separar sus residuos para facilitar su reaprovechamiento frente a un pequeño porcentaje que no está dispuesto a hacerlo (Ver gráfico N° 24).

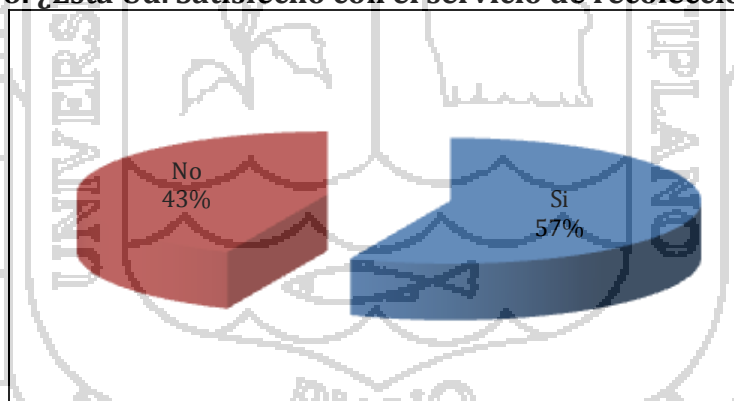
**Gráfico N° 24: ¿Estaría dispuesto a separar sus residuos para facilitar su reaprovechamiento?**



Respecto a la frecuencia de recolección, para el poblador del distrito de Puno la frecuencia de recolección óptima es de cada dos días, la cual es apoyada por el 68% de la población encuestada c

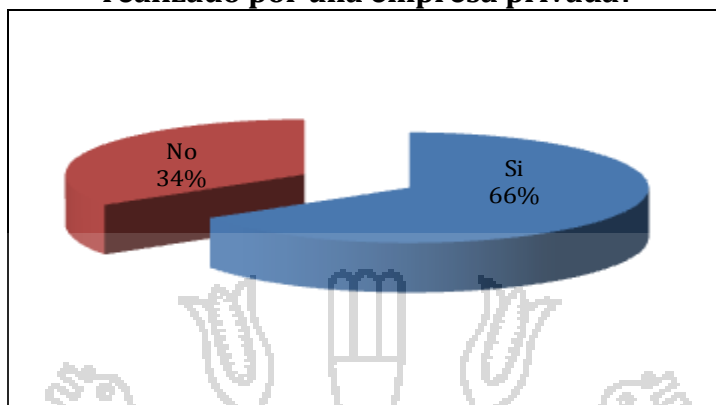
**Gráfico N° 25: Frecuencia de recolección deseada****D. Sobre la disponibilidad de pagar el servicio**

Sobre la satisfacción del actual sistema de recolección: Los resultados obtenidos mediante la encuesta se muestran en el gráfico N° 26, la población encuestada mayoritariamente está conforme con el sistema actual de recolección, mientras que la minoría no está conforme con el servicio de recojo que proporciona la Municipalidad distrital.

**Gráfico N° 26: ¿Está Ud. Satisfecho con el servicio de recolección de basura?**

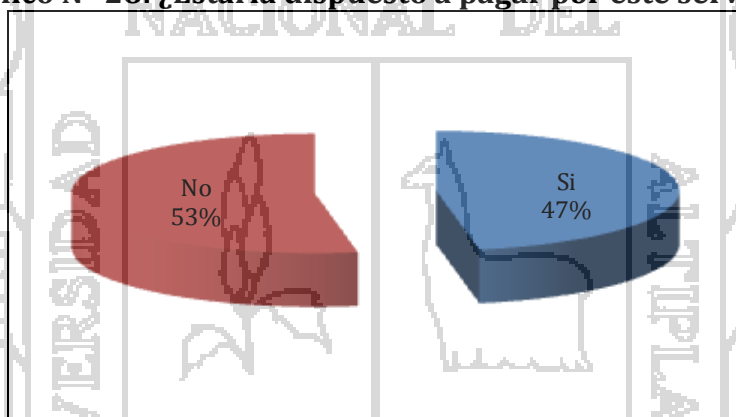
Se le preguntó a la población si ¿le interesaría tener un servicio de recolección de basura, realizado por una empresa privada? Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados están de acuerdo por este tipo de servicio. (Ver gráfico N° 27).

**Gráfico N° 27: ¿Le interesaría tener un servicio de recolección de basura, realizado por una empresa privada?**



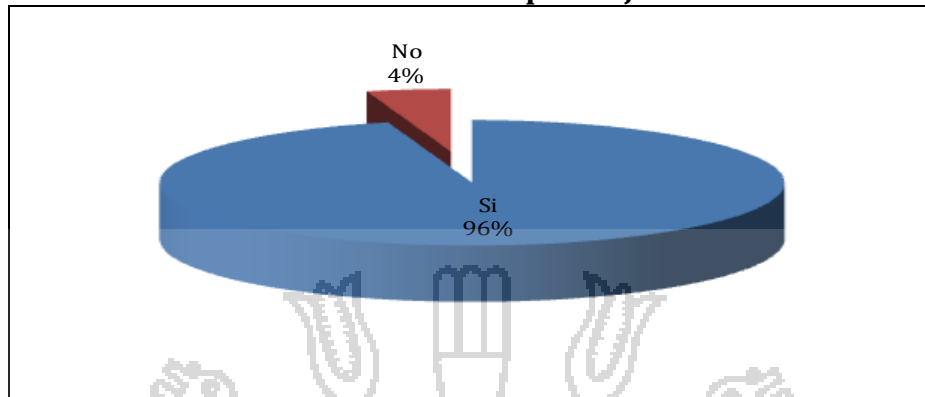
A las personas que respondieron afirmativamente a la pregunta anterior se les preguntó ¿Estaría dispuesto a pagar por este servicio? A lo cual la mayoría de encuestados respondieron que no. (Ver gráfico N° 28).

**Gráfico N° 28: ¿Estaría dispuesto a pagar por este servicio?**



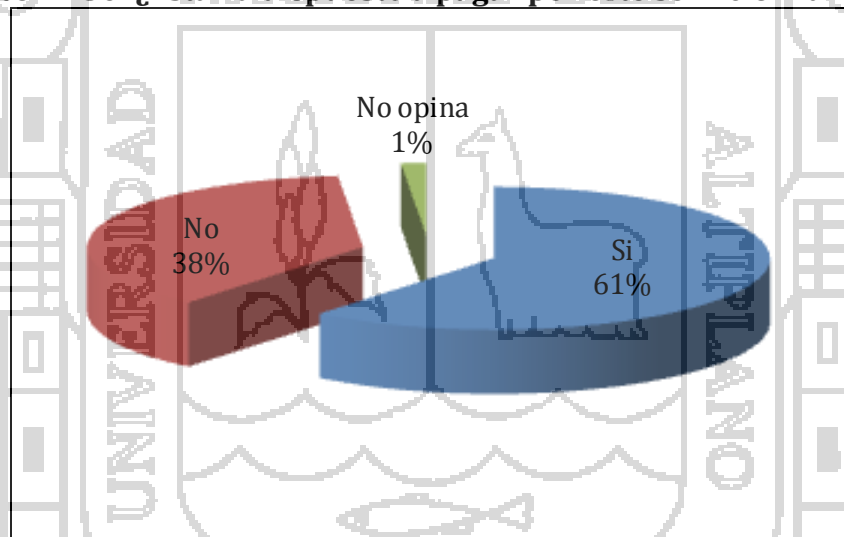
Se le preguntó a la población si ¿Le interesaría tener el servicio de recojo de basura, a través de un servicio municipal mejorado? Los resultados muestran que una gran mayoría de los encuestados están de acuerdo por este tipo de servicio, el porcentaje de aprobación de este servicio es mayor que el servicio de recolección realizado por una empresa privada. (Ver gráfico N° 29).

**Gráfico N° 29: ¿Le interesaría tener el servicio de recojo de basura, a través de un servicio municipal mejorado?**



A las personas que respondieron afirmativamente a la pregunta anterior se les pregunto ¿Estaría dispuesto a pagar por este servicio? A lo cual la mayoría de encuestados respondieron que si y un pequeño porcentaje no opina. (Ver gráfico N° 30).

**Gráfico N° 30: ¿Estaría dispuesto a pagar por este servicio municipal?**





Determinación de la generación per cápita (GPC) de los residuos sólidos

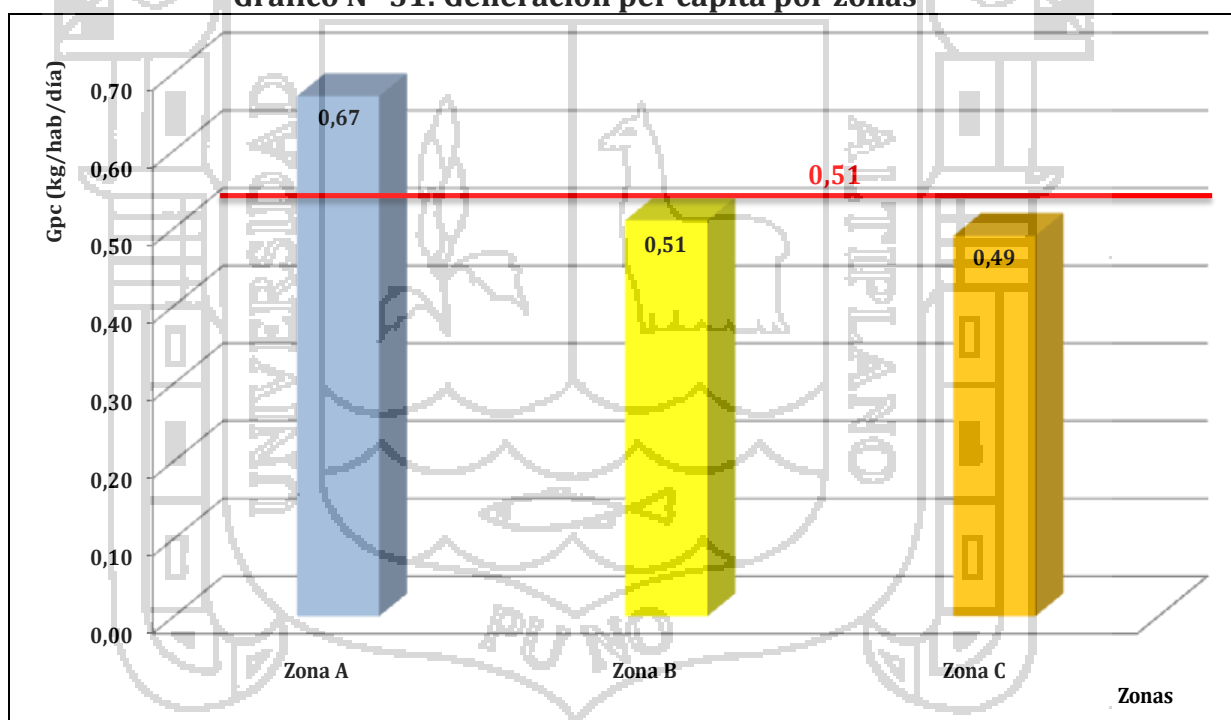
La Generación per cápita promedio obtenida para el distrito de Puno es de 0,51 kg/hab/día. La generación per cápita de cada sector se observa en el cuadro N° 10.

**Cuadro N° 10: Generación per cápita por zonas del distrito**

| Zonas  | N° de viviendas | GPC (kg/hab/d) | GPC promedio (kg/hab/d) |
|--------|-----------------|----------------|-------------------------|
| Zona A | 3 146           | 0,67           | 0,51                    |
| Zona B | 21 254          | 0,51           |                         |
| Zona C | 17 971          | 0,49           |                         |

En el gráfico N° 31 se muestra la generación obtenida en las zonas trabajadas.

**Gráfico N° 31: Generación per cápita por zonas**



## 6.2 Generación de residuos sólidos domiciliarios

Como se muestra en el cuadro N° 11 la generación diaria en el distrito de Puno es de 64,95 t/d.

**Cuadro N° 11: Proyección anual de la generación de residuos domiciliarios**

| Población Urbana proyectada 2010 | GPC promedio ponderado (kg/hab/d) | Generación diaria (t/d) <sup>18</sup> | Generación mensual (t/mes) | Generación anual (t/año) |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 127 362                          | 0,510                             | 64,95                                 | 1 948,50                   | 23 706,75                |

**A. Determinación de la densidad de residuos domiciliarios**

La densidad suelta, resultado del estudio de caracterización en el distrito de Puno es de 195,89 kg/m<sup>3</sup> y la densidad compactada es de 254,63 kg/m<sup>3</sup> (cuadro N° 12).

**Cuadro N° 12: Densidad de residuos sólidos domiciliarios**

| Zona     | Densidad suelta (kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad compactada (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------------------------|--|
| Promedio | 195,89                               | 254,63                                   |

**B. Determinación de la composición física de los residuos sólidos domiciliarios**

La composición de residuos domiciliarios para el distrito de Puno es la siguiente:

**Cuadro N° 13: Composición física de residuos sólidos domiciliarios**

| Componente  | Porcentaje (%) |
|---|----------------|
| <b>A. Residuos aprovechables (A1 + A2)</b>                          | <b>78,34</b>   |
| <b>A.1 Compostificables</b>   | <b>62,82</b>   |
| <i>Residuos orgánicos:</i>  | <i>0,49</i>    |
| Hueso   | 0,40           |
| Madera  | 0,09           |
| Residuos alimenticios (restos de comida, frutas)                    | 59,46          |
| Residuos de jardines (restos de poda de jardines ò de áreas verdes) | 1,99           |
| Cuero   | 0,29           |
| Pluma   | 0,59           |
| <b>A.2 Reciclables</b>  | <b>15,52</b>   |
| <i>Papel:</i>   | <i>3,99</i>    |
| Papel blanco  | 1,80           |
| Papel periódico   | 1,82           |
| Papel mixto   | 0,37           |

<sup>18</sup> Sistema Internacional de Medidas Toneladas (t), Kilogramos (k)

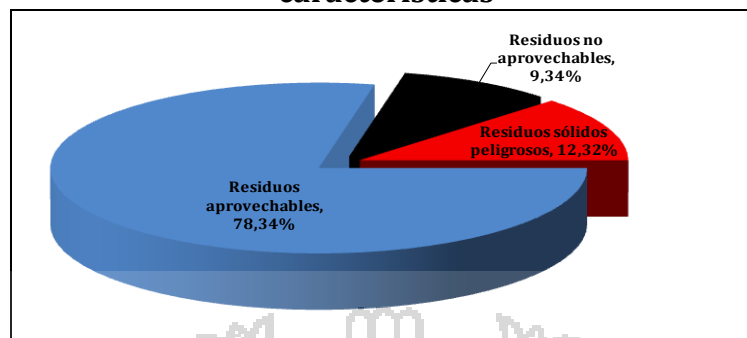
**Cuadro N° 13: Composición física de residuos sólidos domiciliarios  
(continuación)**

|  |               |
|--|---------------|
| <i>Cartón:</i>                                   | 2,59          |
| Cartón marrón                                    | 1,04          |
| Cartón blanco                                    | 0,04          |
| Cartón mixto                                     | 1,51          |
| <i>Vidrio:</i>                                   | 0,81          |
| Vidrio blanco                                    | 0,65          |
| Vidrio marrón                                    | 0,16          |
| <i>Plástico:</i>                                 | 5,42          |
| PET (Tetrafelato de polietileno)                 | 2,43          |
| PEAD (HDPE)(Polietileno de alta densidad)        | 0,64          |
| PVC (Polocloruro de vinilo)                      | 0,03          |
| PEBD ó LDPE (Polietileno de baja densidad)       | 1,57          |
| PP (Polipropileno)                               | 0,69          |
| PS (Poliestireno)                                | 0,04          |
| ABS (acrilonitrilo, el butadieno y el estireno.) | 0,03          |
| <i>Tetrapack</i>                                 | 0,43          |
| <i>Latas (Aluminio)</i>                          | 1,62          |
| <i>Fierro</i>                                    | 0,66          |
| <b><i>B. Residuos no aprovechables</i></b>       | <b>9,33</b>   |
| Bolsas plásticas (bolsas)                        | 6,76          |
| Tecknopor  | 0,62          |
| Pilas  | 0,08          |
| Textiles   | 1,04          |
| Material inerte (tierra, piedras)                | 0,83          |
| <b><i>C. Residuos sólidos peligrosos</i></b>     | <b>12,33</b>  |
| Focos  | 0,02          |
| Pintura  | 0,02          |
| Sintético  | 0,17          |
| Cerámica   | 0,25          |
| Papel higiénico                                  | 4,40          |
| Toalla higiénica                                 | 0,20          |
| Pañal  | 7,27          |
| <b>TOTAL (A+B+C)</b>                             | <b>100,00</b> |

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios por sus características se pueden agrupar en tres grupos:

- Residuos aprovechables.- aquellos residuos que pueden ser aprovechados en la elaboración de compost (62,82%) o en la venta, por tener un precio en el mercado (15,52%).
- Residuos no aprovechables.- aquellos residuos que no pueden ser aprovechados y cuya disposición sería el relleno sanitario.
- Residuos peligrosos.- aquellos residuos que por sus características resultan ser peligrosos.

**Gráfico N° 32: Composición física de residuos domiciliarios por sus características**



### 6.3 Generación de residuos sólidos en comercios

En el cuadro N° 14 se presenta la generación de residuos comerciales que es 1,36 t/d.

**Cuadro N° 14: Cálculo de generación total de residuos comerciales**

| Giro                                  | Área (m <sup>2</sup> ) | Número de establecimientos | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación (kg/d) |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Agencia de viajes                     | 0-30                   | 180                        | 0,39                              | 70,20             |
| Bazar                                 | 0-30                   | 231                        | 0,29                              | 66,99             |
|                                       | 30-100                 | 93                         | 0,90                              | 83,70             |
| Botica                                | 0-30                   | 68                         | 0,43                              | 29,24             |
|                                       | 30-100                 | 68                         | 0,91                              | 61,88             |
| Estudio fotográfico                   | 0-30                   | 23                         | 0,37                              | 8,51              |
|                                       | 30-100                 | 53                         | 0,70                              | 37,10             |
| Ferretería                            | 0-30                   | 79                         | 0,37                              | 29,23             |
|                                       | 30-100                 | 79                         | 0,97                              | 76,63             |
| Librería                              | 0-30                   | 21                         | 0,29                              | 6,09              |
|                                       | 30-100                 | 83                         | 0,88                              | 73,04             |
| Locutorios e internet                 | 0-30                   | 140                        | 0,33                              | 46,20             |
|                                       | 30-100                 | 60                         | 0,76                              | 45,60             |
| Minimarket                            | 100-1000               | 25                         | 7,11                              | 177,75            |
| Panadería o pastelerías o bagueterías | 0-30                   | 22                         | 1,25                              | 27,50             |
|                                       | 30-100                 | 197                        | 1,42                              | 279,74            |
| Peluquería -salón de belleza          | 0-30                   | 122                        | 0,59                              | 71,98             |
| Sastrería                             | 0-30                   | 34                         | 0,41                              | 13,94             |
| Tiendas                               | 0-30                   | 386                        | 0,41                              | 158,26            |
| <b>Total</b>                          |                        |                            |                                   | <b>1363,58</b>    |

#### A. Determinación de la densidad de residuos comerciales

La densidad suelta, resultado del estudio de caracterización en el distrito de Puno es de 141,27 kg/m<sup>3</sup>. (Ver cuadro N° 15).

**Cuadro N° 15: Densidad de residuos sólidos comerciales**

| Densidad suelta de residuos comerciales<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|---|
| 141,27  |

**B. Determinación de la composición física de los residuos sólidos comerciales**

La composición física de residuos comerciales para el distrito de Puno es la siguiente:

**Cuadro N° 16: Composición física de residuos sólidos comerciales**

| Componente                                       | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| <b>A. Residuos aprovechables (A1 + A2)</b>       | <b>73,99</b>   |
| <b>A.1 Compostificables</b>                      | <b>42,86</b>   |
| <i>Residuos orgánicos:</i>                       | <i>0,88</i>    |
| Hueso  | 0,79           |
| Madera   | 0,08           |
| Residuos alimenticios (restos de comida, frutas) | 41,17          |
| Cuero  | 0,05           |
| Pluma  | 0,76           |
| <b>A.2 Reciclables</b>                           | <b>31,13</b>   |
| <i>Papel:</i>                                    | <i>11,61</i>   |
| Papel blanco                                     | 3,23           |
| Papel periódico                                  | 6,52           |
| Papel mixto                                      | 1,85           |
| Papel film                                       | 0,01           |
| <i>Cartón:</i>                                   | <i>6,30</i>    |
| Cartón marrón                                    | 4,13           |
| Cartón mixto                                     | 2,17           |
| <i>Vidrio:</i>                                   | <i>1,74</i>    |
| Vidrio blanco                                    | 1,68           |
| Vidrio marrón                                    | 0,07           |
| <i>Plástico:</i>                                 | <i>8,93</i>    |
| PET (Tetrafelato de polietileno)                 | 5,34           |
| PEAD (HDPE)(Polietileno de alta densidad)        | 0,48           |
| PVC (Polocloruro de vinilo)                      | 0,31           |
| PEBD ó LDPE (Polietileno de baja densidad)       | 1,87           |
| PP (Polipropileno)                               | 0,89           |
| PS (Poliestireno)                                | 0,05           |

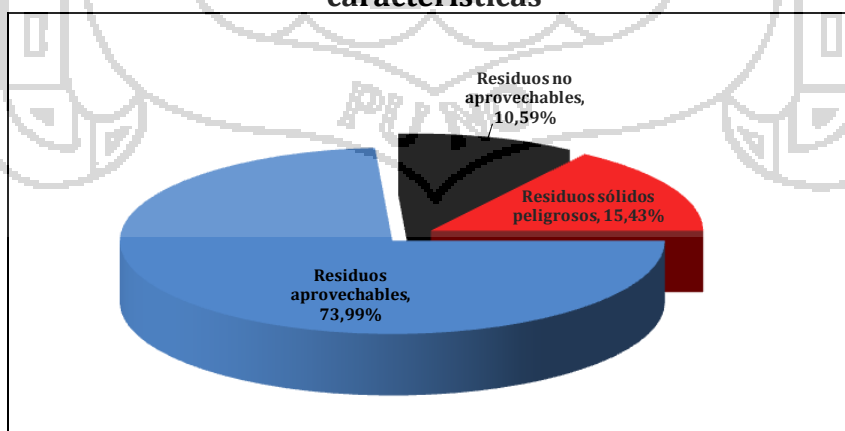
**Cuadro N° 16: Composición física de residuos sólidos comerciales  
(continuación)**

|  |               |
|--|---------------|
| <i>Tetrapack</i>                             | 1,33          |
| <i>Latas (Aluminio)</i>                      | 1,10          |
| <i>Fierro</i>                                | 0,10          |
| <b><i>B. Residuos no aprovechables</i></b>   | <b>10,59</b>  |
| Bolsas plásticas (bolsas)                    | 8,34          |
| Tecknopor                                    | 0,60          |
| Textiles                                     | 0,11          |
| Porcelana                                    | 0,02          |
| Material inerte (tierra, piedras)            | 1,52          |
| <b><i>C. Residuos sólidos peligrosos</i></b> | <b>15,42</b>  |
| Focos  | 0,11          |
| Cerámica                                     | 0,41          |
| Papel higiénico                              | 5,46          |
| Toalla higiénica                             | 0,84          |
| Pañal  | 8,60          |
| <b>TOTAL (A+B+C)</b>                         | <b>100,00</b> |

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios por sus características se pueden agrupar en tres grupos:

- Residuos aprovechables.- aquellos residuos que pueden ser aprovechados en la elaboración de compost (42,86%) o en la venta, por tener un precio en el mercado (31,13%).
- Residuos no aprovechables.- aquellos residuos que no pueden ser aprovechados y cuya disposición sería el relleno sanitario.
- Residuos peligrosos.- aquellos residuos que por sus características resultan ser peligrosos.

**Gráfico N° 33: Composición física de residuos comerciales por sus características**



#### 6.4 Generación de residuos sólidos en restaurantes

La generación diaria de residuos sólidos en restaurantes es de 2888,72 kg/d o 2,89 t/d.

**Cuadro N° 17: Generación de residuos en restaurantes**

| Giro         | Área (m <sup>2</sup> ) <sup>19</sup> | Número de establecimientos <sup>20</sup> | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación (kg/d) |
|--------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------|
| Restaurante  | 30-100                               | 526                                      | 3,45                              | 1814,70           |
|              | 100-1000                             | 105                                      | 4,64                              | 487,20            |
|              | 1000                                 | 26                                       | 22,57                             | 586,82            |
| <b>Total</b> |                                      |  |                                   | <b>2888,72</b>    |

#### 6.5 Generación de residuos sólidos en hospedajes

La generación diaria de residuos sólidos en hospedajes es de 1108,03 kg/d o 1,11 t/d

**Cuadro N° 18: Generación de residuos en hospedajes**

| Giro         | Área (m <sup>2</sup> ) <sup>12</sup> | Número de establecimientos <sup>13</sup> | Generación (kg/establecimiento/d) | Generación (kg/d) |
|--------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------|
| Hospedaje    | 30-100                               | 44                                       | 2,51                              | 110,44            |
|              | 100-1000                             | 165                                      | 5,15                              | 849,75            |
|              | 1000                                 | 11                                       | 13,44                             | 147,84            |
| <b>Total</b> |                                      |  |                                   | <b>1108,03</b>    |

#### 6.6 Generación de residuos sólidos en mercados

La generación diaria de residuos sólidos en mercados es de 3818,27 kg/d. o 3,82 t/d

**Cuadro N° 19: Generación de residuos en mercados**

| Mercado        | Generación (kg/d) |
|----------------|-------------------|
| Central        | 788,13            |
| Laycacota      | 1442,75           |
| Bellavista     | 463,61            |
| Unión Dignidad | 1123,78           |
| <b>Total</b>   | <b>3818,27</b>    |

<sup>19</sup> La clasificación por tamaños (pequeños, medianos y grandes), fue realizada por el equipo técnico ya que la municipalidad no cuenta con esa información.

<sup>20</sup> Dato calculado de la base de datos proporcionado por la Gerencia de Administración Tributaria.

### 6.7 Generación de residuos sólidos en instituciones educativas

La generación diaria de residuos sólidos en instituciones educativas es de 2503,11 kg/d o 2,5 t/d.

**Cuadro N° 20: Generación de residuos en instituciones educativas**

| Nivel de institución educativa | GPC (kg/alumno) | Generación (kg/d) |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| Inicial                        | 0,023           | 101,30            |
| Primaria                       | 0,059           | 1024,13           |
| Secundaria                     | 0,074           | 1043,07           |
| Nivel superior Técnico         | 0,074           | 334,61            |
| <b>Total</b>                   |                 | <b>2503,11</b>    |

### 6.8 Generación de residuos sólidos en instituciones

La generación diaria de residuos sólidos en instituciones es de 618,92 kg/d. o 0,62 t/d.

**Cuadro N° 21: Generación de residuos en instituciones**

| Generación de residuos en instituciones (kg/d) |
|--|
| 618,92   |

### 6.9 Generación de residuos sólidos del barrido de Calles

La generación diaria de residuos sólidos en el barrido de calles es de 2023,41 kg/d. o 2,02 t/d

**Cuadro N° 22: Generación de residuos del barrido de calles**

| Generación de residuos en barrido de calles(kg/d) |
|---|
| 2023,41   |

### 6.10 Generación total de residuos en el distrito de Puno

La generación total diaria de residuos sólidos en el distrito de Puno es de 79,27 t/d.

**Cuadro N° 23: Generación total de residuos sólidos en distrito de Puno**

| Generación de residuos por sector | Generación (t/d) |
|-----------------------------------|------------------|
| Domiciliario                      | 64,95            |
| Comercio                          | 1,360            |
| Restaurante                       | 2,89             |
| Hospedaje                         | 1,11             |
| Mercado                           | 3,82             |
| Instituciones educativas          | 2,50             |
| Instituciones                     | 0,62             |
| Barrido de Calles                 | 2,02             |
| <b>Total</b>                      | <b>79,27</b>     |



## 7. CONCLUSIONES

- La Generación Per Cápita domiciliaria del casco urbano de Puno es de 0,51 kg/hab/d y la generación Per cápita total es de 0,62 kg/hab/d.
- La Generación total de residuos sólidos calculada para Puno es de 79,27 t/d sin considerar los residuos generados en el centro de salud.
- En el caso de composición física de los residuos domiciliarios, el 78,34% son residuos aprovechables; 12,33% son residuos peligrosos y 9,33% son residuos no aprovechables.
- La densidad suelta de residuos sólidos de origen domiciliario es de 195,89 kg/m<sup>3</sup>.
- En el caso de composición física de los residuos comerciales, el 73,99% son residuos aprovechables; 15,43% son residuos peligrosos y 10,59% son residuos no aprovechables.
- La densidad suelta de residuos sólidos de origen comercial es de 141,27 kg/m<sup>3</sup>.
- Las familias de las viviendas seleccionadas han colaborado diariamente observándose una participación del 90%.
- Las familias entrevistadas cuentan con una buena disposición para participar en programas segregación de origen y de recolección selectiva.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se debe contar con una base de datos actualizada de centros comerciales por área en el distrito de Puno, para futuros trabajos.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio, se debe implementar un programa de recolección selectiva de residuos sólidos en la fuente de generación, enfocando los principios de las 3R (reducir, reusar y reciclar) lo cual conllevaría a mejorar el servicio de limpieza pública y otros aspectos de importancia.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- **CEPIS-DIGESA.** “Análisis Sectorial de Residuos Sólidos de Perú” – Julio 1998.
- **FLORES, D; VILLAFUERTE I.** “Guía No. 1 Para la realización de estudios de generación y caracterización de residuos sólidos domiciliarios en ciudades”. IPES-Promoción del Desarrollo Sostenible. Lima, 2002.
- **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)** “Censos Nacionales de Población y Vivienda años 2003, 2005 y 2007”
- **Ministerio de Educación-Unidad de Estadística Educativa** “Indicadores de la Educación Perú 2004, 2005, 2006 y 2007”
- **Municipalidad Provincial de Puno.** “Plan de Desarrollo Provincial Concertado del departamento de Puno al 2021”
- **SAKURAI, K.** Aspectos básicos del servicio de aseo. Análisis de residuos sólidos. Programa Regional OPS/EHP/CEPIS de mejoramiento de la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos. CEPIS. Lima 1983.

### Páginas Web de Consulta

- **ESCALE**  
<http://escale.minedu.gob.pe/escale/inicio.do?pagina=1>
- **Instituto Nacional de Estadística e Informática**  
<http://www.inei.gob.pe>  
<http://desa.inei.gob.pe/mapas/bid/>
- **Ministerio de Salud**  
<http://www.minsa.gob.pe/portada/estadistica.htm>
- **Información Turística de Puno**  
Fuente:<http://www.vivenciaandina.com/viajes-a-peru/puno-lago-titicaca.htm>