

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



## **TESIS**

**ADITIVO PROES Y SU CONTRIBUCIÓN EN LA ESTABILIDAD  
DE SUELO AFIRMADO EN LA CARRETERA DE PUQUIO-  
CORACORA - AYACUCHO - 2016.**

**Presentado por**

**Bach. Humberto Rufino CHALCO VARGAS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**JULIACA – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD LAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Bach. Humberto Rufino CHALCO VARGAS

**ADITIVO PROES Y SU CONTRIBUCIÓN EN LA ESTABILIDAD  
DE SUELO AFIRMADO EN LA CARRETERA DE PUQUIO-  
CORACORA - AYACUCHO - 2016.**

**1.**

Esta tesis fue evaluada y aprobada por la obtención del título de ingeniero civil en la Universidad Alas Peruanas

.....  
Dr. Victor M. LIMA CONDORI

.....  
Ing. Hugo A. CCAMA CONDORI

.....  
Ing. Daniel QUISPE MAMANI

**JULIACA, PERÚ**

2017

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mis padres Marina y Humberto, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Mamá y Papá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes.*

*A mi querida esposa, Marilín Gutierrez y a mi pequeña hija Kaythy Isha por sus palabras y confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.*

*A mis hermanos, Mayita Rosario, Alberto Michel y Cinthia Mary Luz, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.*

**HUMBERTO RUFINO**

# RECONOCIMIENTO

*Se agradece por su contribución para el desarrollo de la tesis a:*

*Con gratitud agradezco a las Autoridades de la Universidad Alas Peruanas, en especial a la Dirección adjunto de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil donde culminé mis estudios de pre grado satisfactorio.*

*Mi sincero agradecimiento a las autoridades, y el personal trabajador de la obras civiles de la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho, quienes con su apoyo y predisposición hicieron posible la realización de la investigación por permitimos aplicar, plasmar nuestro trabajo experimental.*

*A las Autoridades Universitarias de la Universidad Alas Peruanas, de filial Juliaca, Ing. Gilmer Salas Madera por su acertada coordinación y asesoramiento adecuado y oportuno con sus sabias orientaciones, para cristalizar y lograr mi anhelado sueño de obtener el título profesional de Ingeniero Civil.*

*De manera muy especial a la Dr. Victor Manuel Lima Condori, quien con sus conocimientos y aportes de grandes ideas supo guiarme a la culminación con éxito este trabajo*

## RESUMEN

Los factores que tienen gran influencia en el estado de la infraestructura vial de tipo afirmado, son las fallas o deterioros superficiales de la estructura. Dichos factores influyen en la vida útil de la vía así como, en el servicio que prestan al público, es importante realizar la evaluación en la estructura de vías afirmadas, donde se observa que el proceso de deterioro se inicia inmediatamente después de la construcción. Las causas son las solicitaciones externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos.

En consecuencia el deterioro de la estructura de la vía es un proceso progresivo, por lo cual es necesario incorporar tecnologías que mejoren la estabilización de los suelos afirmados a fin de tener más durabilidad en las vías de comunicación afirmadas.

El objetivo de este estudio fue determinar la contribución del Aditivo Enzimático Proes en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016, metodológicamente este estudio se basó en la aplicación del Aditivo PROES, para evaluar la mejora en la estabilización de suelo afirmado (permeabilidad y resistencia), la técnica usada fue ensayos de laboratorio el mismo que ha permitido mostrar los resultados con certificaciones de laboratorio de suelos bajo estándares y protocolos de ensayo normados en el reglamento nacional de construcciones.

De los resultados del estudio de investigación demuestran que al aplicar el aditivo PROES existe la tendencia al incremento en las propiedades mecánicas necesarias para garantizar un adecuado nivel de servicio, el afirmado aumenta su valor presenta una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 200% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo. Así mismo los resultados de CBR tienen coherencia respecto a los valores esperados según el diseño de la base estabilizada.

Palabras clave: Aditivo PROES, carretera, estabilidad de suelo

## **ABSTRACT**

The factors that have great influence in the state of the road infrastructure of the type affirmed are the faults or superficial deteriorations of the structure. These factors influence the useful life of the road and, in the service provided to the public, it is important to carry out the evaluation in the structure of roads, where it is observed that the deterioration process starts immediately after construction.

The causes are external stresses caused by traffic and weather agents. Consequently the deterioration of the structure of the road is a progressive process, which is why it is necessary to incorporate technologies that improve the stabilization of the soils affirmed in order to have more durability in the roads of communication affirmed.

The objective of this study was to determine the contribution of the Proes Enzymatic Additive in soil stability in the Puquio - Coracora - Ayacucho 2016 road, methodologically this study was based on the application of PROES Additive, To evaluate the improvement in soil stabilization asserted, the technique used was laboratory tests the same that allowed to show the results with laboratory certifications of soils under standards and test protocols regulated in the national regulations of constructions.

From the results of the research study show that when applying the PROES additive there is a tendency to increase the mechanical properties necessary to guarantee an adequate level of service, the affirmed increases its value presents an improvement in the results of the CBR tests, with a Increase in test results of up to 300% in material with additive with respect to material without additive. Also the results of CBR are consistent with the expected values according to the design of the stabilized base.

Keywords: PROES additive, road, soil stability

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	III
RECONOCIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I.....	15
1.  PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	15
1.1.  DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	15
1.2.  DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.2.1.  Delimitación espacial.....	16
1.2.2.  Delimitación temporal .....	16
1.2.3.  Delimitación social/conductual.....	17
1.2.4.  Delimitación Conceptual .....	17
1.3.  PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN .....	17
1.3.1.  Problema General .....	17
1.3.2.  Problemas Específicos .....	17
1.4.  OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1.  Objetivo general .....	18
1.4.2.  Objetivos específicos.....	18
1.5.  FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.5.1.  Hipótesis general.....	18
1.5.2.  Hipótesis específico.....	18
1.6.  VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.6.1.  Variable independiente .....	19
1.6.2.  Variable dependiente.....	19
1.6.3.  Operacionalización de Variables. ....	19
1.7.  METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.7.1.  Tipo y nivel de Investigación.....	20
1.7.2.  Diseños y métodos de Investigación.....	20
1.7.3.  Población y muestra de la investigación .....	22
1.7.4.  Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
1.7.5.  Justificación e importancia de la investigación.....	23
CAPÍTULO II.....	15
2    MARCO TEÓRICO .....	26

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.2	ESTUDIOS ESPECÍFICOS .....	29
2.3	BASES TEÓRICAS. ....	30
2.3.1	Caminos y Carreteras.....	30
2.3.2	Clasificación de caminos .....	30
2.3.3	Pavimentos.....	32
2.3.4	Componentes estructurales del pavimento: .....	33
2.3.5	Estabilización de Suelos.....	36
2.3.6	Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras.....	37
2.3.7	Tipos de estabilización .....	40
2.3.8	Estabilización con aditivo PROES .....	49
2.3.9	Características de desempeño dentro de la conservación vial.....	55
2.3.10	Contratos de Conservación vial por Niveles de Servicio (CCVNS) .....	55
2.3.11	Indicadores de desempeño.....	59
2.4	Ensayos.....	75
2.4.1	Integrador de Resaltes o Bump Integrator .....	75
2.4.2	Rugosímetro Merlin .....	76
2.4.3	Light Weight Deflectometer o LWD.....	80
2.4.4	California Bearing Ratio o CBR .....	82
2.4.5	Cono de densidades.....	85
	CAPÍTULO III .....	88
3.	PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN .....	88
3.1.	CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA REVISIÓN DE LA SITUACIÓN	
	ACTUAL.....	88
3.1.1.	Ubicación.....	88
3.1.2.	Resumen de la situación actual .....	89
3.1.3.	Análisis y revisión de los parámetros básicos: .....	89
3.1.4.	Suelos y pavimentos:.....	94
3.1.5.	Geología y Geotecnia. ....	101
3.1.6.	Sustento del coeficiente estructural .....	104
3.1.7.	Diseño estructural del pavimento .....	108
3.1.8.	Estructura de pavimento .....	110
3.1.9.	Secciones de diseño. ....	112
3.1.10.	Proceso constructivo de bases estabilizadas con aditivo PROES.....	113
	CAPÍTULO IV .....	123
4	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ....	123
4.1	Verificación de la compactación .....	123

4.2	Capacidad portante: .....	124
4.3	Evaluación funcional de la superficie de rodadura de la base estabilizada ..	126
4.4	Contrastación de la hipótesis.....	127
CONCLUSIONES .....		140
RECOMENDACIONES .....		141
BIBLIOGRAFIA.....		142

## LISTA DE TABLAS

- Tabla II.1. Normas referentes a Estabilizaciones Químicas en el Perú
- Tabla II.2. Tramos de Estabilizaciones Químicas en el Perú
- Tabla II.3. Categoría de la subrasante según su CBR
- Tabla II.4. Permeabilidad según la textura del suelo
- Tabla II.5. Valores para el cálculo del IRI en el modelo de Cuarto de Auto
- Tabla II.6. Interpretación del comportamiento de un pavimento
- Tabla II.7. Evaluación de terrenos
- Tabla III.1. IMDa de carretera
- Tabla III.2. Ancho promedio de calzada existente
- Tabla III.3. Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior
- Tabla III.4. Resumen de resultados del análisis de la recarga existente
- Tabla III.5. Espesores de recarga granular existente
- Tabla III.6. Relación entre Merlin y Bump Integrator
- Tabla III.7. Resultados de la Evaluación Funcional del Corredor vial
- Tabla III.8. Resultados de evaluación funcional luego de perfilar el tramo con motoniveladora
- Tabla III.9. Resultados de la Evaluación Estructural del Corredor vial en estudio
- Tabla III.10. Coeficientes de resistencia relativa de las diferentes capas de un pavimento flexible
- Tabla III.11. Espesor adoptado para un SN de 0.87
- Tabla III.12. Gradación Canteras para Estabilización
- Tabla III.13. Características Físico Mecánicas Canteras Estabilizadas
- Tabla III.14. Ejes Equivalentes del tramo Puquio – Coracora
- Tabla III.15. Clasificación según volumen de tránsito para carreteras.
- Tabla III.16. Espesor mínimo según el tipo de suelo de fundación

- Tabla III.16. Espesor mínimo según el tipo de suelo de fundación
- Tabla IV.1. Resumen de compactación en el tramo en estudio
- Tabla IV.2. Resumen de Resultados CBR al 95% de la MDS
- Tabla IV.3. Resultados de la evaluación funcional del corredor vial luego de estabilizar la base con tecnología PROES
- Tabla IV.4. Diseño del plan experimental
- Tabla IV.5. Resultados muestrales de los puntajes obtenidos durante el proceso de experimentación
- Tabla IV.6. Análisis de Varianza para el Diseño Factorial Completamente al Azar
- Tabla IV.7. Prueba de comparaciones Múltiples para el factor B
- Tabla IV.8. Análisis de varianza para materiales utilizados
- Tabla IV.9. Análisis de Varianza para la conformación del aditivo enzimático Proes
- Tabla IV.10. Diferencia de Medias para el Puntaje Promedio

## LISTA DE FIGURAS

- Figura I.1. Operacionalización de variables
- Figura II.1. Estructura típica de un pavimento
- Figura II.2. Esquema de dosificación de una base con tecnología Proes
- Figura II.3. Riego de Liga
- Figura II.4. Colocación de slurry seal
- Figura II.5. Modelo Matemático de un Cuarto de Auto
- Figura II.6. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos
- Figura II.7. Gráfica de avance del deterioro de un camino respecto al tiempo
- Figura II.8. Cuenco de deflexiones ix
- Figura II.9. Representación de dos cuencos de deflexión
- Figura II.10. Datos requeridos para el cálculo directo y el cálculo inverso
- Figura II.11. Comparación del cuenco de deflexión medido y teórico
- Figura II.12. Curva humedad vs densidad
- Figura II.13. Esquema del Rugosímetro de Merlin
- Figura II.14. Cortes A y B del rugosímetro de Merlin
- Figura II.15. Equipo LWD
- Figura II.16. Equipo y Pad de mano
- Figura II.17. Curva Esfuerzo vs Penetración
- Figura II.18. Equipo para la realización del ensayo.
- Figura III.1. Situación inicial en el corredor vial en estudio
- Figura III.2. Radios de Curvas de Volteo. Nótese las curvas Espirales
- Figura III.3. Estructura del pavimento estabilizado con la tecnología PROES
- Figura III.4. Preparación de la Sub Rasante
- Figura III.5. Esparcido de cemento
- Figura III.6. Mezcla con el material

Figura III.7. Adición aditivo líquido

Figura III.8. Compactación de la base con rodillo lizo

Figura IV.1. Resumen general de la compactación medida en el tramo en estudio.

Figura IV.2. Valores de CBR antes y después de estabilizar en el tramo en estudio.

Figura IV.3. Medias marginales estimadas de repeticiones

Figura IV.4. Tratamientos de acuerdo al puntaje promedio

Figura IV.5. Tratamientos de acuerdo al puntaje promedio

Figura IV.6. Diferencia de Medias para el Puntaje Promedio

# INTRODUCCIÓN

El crecimiento social y económico de una población se debe principalmente a sus vías de comunicación ya que a través de ellas se realizan las relaciones comerciales, personales, de comunicación, etc., pero el gasto económico que demanda la construcción de caminos y carreteras, y su posterior mantenimiento, hace que sean proyectos inviables en poblados cuya afluencia vehicular es baja, justamente por ser pueblos en vías de desarrollo.

En respuesta a este problema, es que actualmente, gracias a la aparición de nuevas tecnologías, se puede habilitar caminos de buena transitabilidad a bajo costo por un periodo de vida determinado, en proyectos denominados servicio de gestión y conservación vial por niveles de servicio de corredores viales lo que viene a ser una buena primera solución, para fomentar el incremento del tránsito hacia estas zonas.

Una de estas nuevas tecnologías es la elaboración de bases estabilizadas con algún tipo de agente aglomerante, ya sea químico o de otra índole, que comparadas al clásico sistema de construcción de carreteras con bases y sub bases, resulta optima y rentable en el caso ya mencionado.

Una de las limitaciones de estas nuevas técnicas es justamente que son métodos relativamente nuevos, por lo que no se cuenta con mucha experiencia de ejecución en proyectos de este tipo, lo que genera cierta incertidumbre en el grado de confiabilidad en los resultados que se puedan obtener.

El presente proyecto pretende determinar si es posible alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad mediante el uso de un aditivo químico llamado PROES para la construcción de una base estabilizada, proyecto de gestión y conservación vial por niveles de servicio realizado entre las localidades de Puquio - Coracora, sirviendo de antecedente para futuros proyectos sobre este tipo de estabilización.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Los factores que tienen gran influencia en el estado de la infraestructura vial de tipo afirmado, son las fallas o deterioros superficiales de la estructura. Dichos factores influyen en la vida útil de la vía así como, en el servicio que prestan al público, es importante realizar la evaluación en la estructura de vías afirmadas, donde se observa que el proceso de deterioro se inicia inmediatamente después de la construcción. Las causas son las sollicitaciones externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos. Sin embargo, la tasa y tipo de deterioro depende de la intensidad en que se manifiestan éstas sollicitaciones además de otros factores que actúan con diversas combinaciones, el deterioro depende también del diseño original, de los materiales y especificaciones técnicas, del proceso constructivo y del control del proceso.

En consecuencia el deterioro de la estructura de la vía es un proceso progresivo, por lo cual es necesario incorporar tecnologías que mejoren la estabilización de los suelos afirmados a fin de tener más durabilidad en las vías de comunicación afirmadas.

En ese contexto es necesario plantear alternativas de las tecnologías que mejoren la estabilización de suelos como es el Aditivo Enzimático PROES que es un aditivo que al incorporarse al suelo mejora su capacidad mecánica de soporte de los suelos.

Con el propósito de abordar este fenómeno, se plantea el siguiente cuestionamiento que direcciona esta presente investigación: ¿Cuál es la contribución del Aditivo enzimático Proes en la estabilización de suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho – 2016?

## **1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

Esta investigación fue realizada en Tramo: Puquio – Cora Cora., Región Ayacucho, toma como sujeto de estudio la vía afirmada en proceso de construcción, en donde se ha recopilado y analizado la información referente a la estabilización de suelo afirmado, para la serviciabilidad de la vía.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

El presente estudio de investigación se realizó desde el mes de Julio del año 2016 hasta Diciembre del 2016, en dicho periodo se ha realizado la toma de datos de las variables específicos de la presente investigación.

### **1.2.3. Delimitación social/conductual**

El objeto de estudio de la presente investigación es la vía Puquio – Cora Cora y tendrá impacto en las poblaciones adyacentes a la vía, quienes hacen uso frecuente de la vía para el traslado de sus productos, así mismo permite la interconexión con los demás ciudades cercanas al área del proyecto.

### **1.2.4. Delimitación Conceptual**

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como es el aditivo enzimático Proes y la estabilización de suelo afirmado, dichas variables han sido analizados en la presente investigación.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Problema General**

¿Cuál es la contribución del Aditivo enzimático Proes en la estabilización de suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho – 2016?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

¿En qué medida contribuye el aditivo enzimático Proes en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016?

¿En qué medida contribuye el aditivo enzimático Proes en la permeabilidad del suelo afirmados en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016?

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

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la contribución del Aditivo Enzimático Proes en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

–Analizar la contribución del aditivo enzimático Proes en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016.

–Analizar la contribución del aditivo enzimático Proes en la permeabilidad del suelo afirmados en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016.

## **1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El aditivo enzimático Proes tendría una contribución significativo en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2016.

### **1.5.2. Hipótesis específico**

– La aplicación del aditivo enzimático Proes tendrían contribución en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016.

–La aplicación del aditivo enzimático Proes tendrían contribución en la permeabilidad del suelo afirmado en la carretera de Puquio – Coracora - Ayacucho 2016.

## 1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.6.1. Variable independiente

Variable independiente (X)



Aditivo Enzimático. Proes  
Proceso Constructivo

### 1.6.2. Variable dependiente

Variable dependiente (Y)



Estabilización de suelo afirmado  
Resistencia mecánica  
permeabilidad

### 1.6.3. Operacionalización de Variables.

Figura. I.1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	DATO
VI (X) = ADITIVO ENZIMÁTICO PROES	Proceso Constructivo	Proporción de mezclado Diseño de mezcla con aditivo PROES	% DE ADITIVO
VI (y) = ESTABILIZACION DE SUELO AFIRMADO	Resistencia mecánica a la compresión	Capacidad portante	C.P =Grs/cm2 Ds. =Grs/cm3
		Granulometría	
		Ensayo CBR	
		Ensayo PROCTOR	
	permeabilidad	Capacidad portante	C.P =Grs/cm2 Ds. =Grs/cm3
		Granulometría	
		Ensayo CBR	
		Ensayo PROCTOR	

Fuente: Elaboración propia

## **1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Tipo y nivel de Investigación**

#### **a) Tipo de investigación**

El presente estudio asume el enfoque cuantitativo, se recolectará los datos con instrumentos estandarizados y por el propósito de estudio es de tipo básico o fundamental está orientado a comprobar y valorar la contribución del aditivo PROES en la estabilización de vías carrozables y por la naturaleza de estudio es experimental, debido que se trabaja con variable independiente (Aditivo Enzimático PROES) y la variable dependiente (Estabilización de Suelo Afirmado) con ensayos de laboratorio

#### **b) Nivel de investigación**

Asimismo, de acuerdo a las características y profundidad del estudio corresponde al nivel de investigación experimental analítica por que explica los efectos de la variable independiente sobre la variable dependiente ya que lo que se pretende es aplicar los resultados a situaciones reales donde se presenten problemas similares, para validar que la incorporación del aditivo PROES, en la mejora d la estabilización de los suelos de afirmado, la investigación es experimental.

### **1.7.2. Diseños y métodos de Investigación**

#### **a) Diseño de investigación**

La presente es una investigación que asume el diseño experimental, transversal implica destacar las características más importantes de la investigación es la aplicación del Aditivo PROES, para evaluar la mejora en la estabilización de suelo afirmado, en ese contexto se asume las siguientes fases.

FASE 1. Fase preparatoria. En esta fase se plantea el plan de trabajo, en el cual se definen los objetivos y la hipótesis, como también se analiza las variables de estudio

FASE 2. Recolección de la información. En esta etapa de la investigación se realizara una recopilación de información bibliográfica y de internet para adquirir los conocimientos relacionados, con el objeto de estudio. Posteriormente se identificó la unidad de análisis, donde se realizó la toma de muestras para el ensayo en laboratorios.

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

- Protocolo de toma de muestra.
- Registro de datos estadísticos.
- Recursos informáticos (Internet).
- Registro fotográfico apuntes perspectivas.
- Trabajo de campo (observación estructurada directa).
- Cuaderno de apuntes.
- Inventario de información (bibliotecas y centros de documentación).
- Planos de obra vectorizados

FASE 3. Procesamiento y análisis de la información: En esta etapa se organizara e interpretara los resultados de laboratorio. Con las variables obtenidas se procederá a cuantificar la mejora en la estabilización de suelos. Para la interpretación de datos se usara la estadística ANOVA a fin de determinar la mejora en la estabilización. Se empleará los siguientes medios de procesamiento y análisis.

- Autocad (software que se usara para vectorizar planos).

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

FASE 4. Fase propositiva. Se planteara y se recomendara la incorporación del aditivo enzimático para la estabilización de los suelos en carreteras, asi mismo se indicara los resultados y las proporciones necesarias para mejorar los suelos

#### **b) Método de investigación**

Desarrollar un trabajo de investigación, requiere la aplicación de un conjunto de estrategias o procedimientos denominados métodos, los que nos van a permitir arribar a los resultados que se busca, en este caso demostrar la hipótesis y cumplir con los objetivos trazados, es así que se emplearon los siguientes métodos generales de investigación: método inductivo observacional, método analítico y el método estadístico.

### **1.7.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Población**

La unidad de observación objeto del presente estudio de investigación corresponden al Tramo: Puquio – Cora Cora en la región Ayacucho de 96 Km, en dicha vía se ha incorporado el aditivo enzimático PROES para la estabilización de suelos en afirmado de la vía.

#### **b) Muestra**

En la presente investigación para obtener las características de la población se usó el método de muestreo, el tipo de muestreo es no probabilístico (no aleatorio) de tipo intencional, el muestreo se basó cada 20 Km exclusivamente en los sectores que se encuentran entre las

progresivas del sector km20+000, km 40+00, km 60+000 y Km 80+000 del Tramo: Puquio – Cora Cora

#### **1.7.4.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **a) Técnicas**

Las técnicas constituyen elementos de investigación más precisos, específicos y concretos de la investigación, a través de las técnicas operacionalizamos los diversos indicadores en la práctica para la presente investigación se usaron las siguientes técnicas.

**Técnica documental o bibliográfica.** Nos ha permitido revisar la documentación de carácter teórico.

**Técnica de ensayos de laboratorio** Esta técnica ha permitido mostrar los resultados de los laboratorios bajo estándares y protocolos de ensayo normados en el reglamento.

**Técnica de la estadística.** Los datos estadísticos obtenidos de campo, fueron cuantificados, luego sometido a un tratamiento estadístico, como elemento que ofrece mayor nivel de precisión y confiabilidad cuando se trata de medir los resultados.

##### **b) Instrumentos**

Los instrumentos que se ha utilizado en la presente investigación son fichas de observación, protocolos de ensayo de CBR, PROCTOR MODIFICADO

#### **1.7.5.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **a) Justificación**

La presente tesis se desarrolla por la necesidad de aplicar de manera práctica y económica la adición de PROES en la estabilización de suelos afirmados, durante el proceso constructivo de las vías, hasta

este momento las vías afirmadas presentaban deterioros en un tiempo muy corto y por ende no se podían transitar con la comodidad necesaria. En respuesta a este problema, es que actualmente, gracias a la aparición de nuevas tecnologías, se puede habilitar caminos con buena transitabilidad a bajo costo por un periodo de vida determinado. Una de estas nuevas tecnologías es la elaboración de bases estabilizadas con algún tipo de agente aglomerante, ya sea químico o de otra índole, que comparadas al clásico sistema de construcción de carreteras con bases y sub bases, resulta optima y rentable en el caso ya mencionado.

En ese contexto este estudio pretende contribuir en mostrar que la adición de PROES mejora la estabilización de los suelos y esto permitirá que los proyectos nuevos se planteen bajo este enfoque, a fin de mejorar nuestra vías del país y de la región, que garanticen la serviciabilidad y que el transito sea adecuado y seguro en la vías.

#### **b) Importancia**

La importancia de nuestro estudio radica que la infraestructura vial es un agente determinante en el desarrollo social, económico y cultural de las diferentes regiones de nuestro país, es por eso que es importante considerar a nuestras carreteras como el principal activo económico que posee la nación, en la actualidad el estado de las vías primarias y secundarias se encuentran por debajo de los niveles de competitividad requeridos por el medio, al lograr realizar la intervención en las vías nacionales se podría percibir el beneficio en la disminución de los costos de operación, adicionalmente de reactivar el desarrollo económico en regiones particulares.

#### **c) Limitaciones**

La poca información existente sobre la aplicación e incorporación del Aditivo PROES en la región País es una limitante, ya que no se tiene referencias sobre estudios anteriores en nuestro medio y en el país, que permita tener una validación del aditivo PROES, así mismo para

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

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **a) Antecedentes de estabilizados químicos en el Perú**

La utilización de estabilizadores químicos en carreteras se aplica desde hace varios años en países como Chile, Argentina y Colombia por varias razones, entre las cuales tenemos: reducir la necesidad de conservación de caminos lo cual implica un ahorro significativo, disminuir notoriamente la emisión de polvo por el tránsito vehicular y brindar un camino confortable a los distintos poblados del interior del país. Ahora bien, la estabilización química de suelos es un proceso que trata el suelo natural transformándolo en una base impermeable en algunos casos, resistente (CBR > 100%) y flexible. Además, el proceso de estabilización requiere estudio de los suelos a tratar, dosificaciones de aditivos que pueden ser líquidos o sólidos o ambos, diseño de pavimentos y supervisión en terreno.

En los últimos años en el Perú se aprobaron varias normas referentes a estabilización de suelos conocidos como pavimentos económicos, en el Cuadro N° II.1.se detallan algunos de ellos. En Colombia ha sido aplicado en la ciudad de Medellín, donde se realizó una prueba piloto en los años 2002 y 2003 dirigidos por Luis Fernando Botero y Martha Eugenia Álvarez, profesores de la universidad de EAFIT.

Año	Acontecimiento
2000	Aprueban norma denominada Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, cuyo Capítulo 3 subbases y bases, secciones 306, 307 y 308 contemplan el empleo, como estabilizador, de cemento, cal y compuestos multienzimáticos orgánicos.
2003	El MTC - DGCyF, mediante resolución ministerial N° 062-2003 MTC/02 constituye la “Comisión Técnica para tratar la problemática sobre estabilizadores de suelos”.
2003	La Comisión emite la Directiva N° 05-2003-MTC/14, que estipula pautas para Evaluar la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos, aprobada con Resolución Directoral N° 040-2003-MTC/14.
2004	Se aprueba mediante Resolución Directoral N° 007-2004-MTC/14, La Norma MTC E 1109 sobre estabilizadores químicos de suelos.
2005	Se da la Directiva N° 007-2005-MTC/14 denominado “Evaluación de la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos”.
2008	Se aprueba Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo- Volumen de Tránsito.

Tabla N° II.1 Normas referentes a Estabilizaciones Químicas en el Perú.

Fuente: MTC, 2013

En la actualidad tenemos en el mercado diversos productos aplicados a estabilizaciones químicas en afirmados de distintos tipos de suelo tanto en la costa, sierra y selva; con características y formas de aplicación diferentes, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- Cloruro de magnesio hexahidratado.
- Cloruro de Calcio
- PROES (Hidrocarburos derivados de la refinación del petróleo (R-CH<sub>3</sub>), Iones de sales y otros menores).

- Cloruro de Sodio (sal común)

Con la necesidad de mejorar las características físico-mecánicas de los afirmados que componen las diferentes redes de carreteras tanto en la costa, sierra y selva, alrededor del año 1995 en el Perú se utiliza estabilizadores químicos, en un inicio en tramos experimentales evaluados en laboratorio y monitoreados por la instancias pertinentes.

Por su parte el Ministerio de Transporte y Comunicaciones evalúa los tramos estabilizados en el Perú de acuerdo a la norma técnica de estabilizadores químicos que fue desarrollada para establecer un procedimiento de verificación en que los estabilizadores químicos cumplan con las características técnicas inherentes a su elaboración, las mismas que han sido previamente definidas por su representante en el ámbito nacional y establecer los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.

A continuación mencionaremos algunos tramos estabilizados químicamente en el Perú hasta la fecha:

Tabla N° II.2. Tramos de Estabilizaciones Químicas en el Perú.

Piura	Hualapampa - Sondor	
	Canchaque - Huancabamba	
	San José del Alto - Ambato	
	Sondor - Dv. San José del Alto	
Cusco Red Vial 1	Yanaoca- Churipampa	
	Queswachaka - Churipampa	
	Ausanta - Pte. Chaella	
Cusco Red Vial 3	Quellopuito - Amparaes	
	Amparaes - Pte Manto	
	Kepashiato - Chirumpiari	
Madre de Dios	La Joya - Infierno	
	Tropezón	

Fuente: MTC, 2013

## **2.2 ESTUDIOS ESPECÍFICOS**

Para este trabajo de investigación se han tomado como referentes trabajos de investigación estudiados en diferentes realidades, que sirvieron como guía de trabajo para el presente estudio de tesis.

**EVALUACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO ESTABILIZADOS CON ADITIVO PROES:** el estudio se realizó con el objetivo si es posible alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad mediante el uso de un aditivo químico llamado PROES. La carretera en estudio ha sido evaluada tanto funcional como estructuralmente mediante ensayos de laboratorio con base a las normas técnicas peruanas. Para la evaluación funcional se midió el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para determinar la rugosidad sobre la superficie de rodadura y para la evaluación estructural se midió las deflexiones sobre la base estabilizada y por medio del retrocálculo se calculó el número estructural de la base. Los resultados muestran que la superficie de rodadura califica a la carretera como un pavimento nuevo (IRI menor o igual a 4 m/Km) y respecto a la capacidad de soporte, se sobrepasa el mínimo número estructural calculado en el diseño de la carretera (SNMin 0.87).

Finalmente se demuestra que el uso de la tecnología PROES mejora la capacidad de soporte del suelo, uniformiza las características físicas y mecánicas del suelo en general y garantiza un correcto desempeño en términos de niveles de servicio. (Atarama, 2015)

**DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE AFIRMADO ESTABILIZADO CON CLORURO DE MAGNESIO MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO DE HOGG Y VIGA BENKELMAN:** El objetivo general de este trabajo fue determinar el módulo de elasticidad de la subrasante y de la base estabilizada de un afirmado estabilizado con cloruro de magnesio en la costa. Para esto se procesó información obtenida de ensayos no destructivos con la viga Benkelman de doble brazo y relación de 2:1 que permitió medir deformaciones elásticas sobre la base estabilizada al aplicar una carga estándar de manera fácil, práctica y económica. Con las deflexiones medidas en campo y su posterior análisis de resultados

trabajados con el Modelo de Hogg se determinaron las deformaciones teóricas del suelo y el módulo elástico tanto para la subrasante y base estabilizada. Obteniendo los módulos elásticos de la subrasante y con ello el CBR en cada punto ensayado, con esto se pudo determinar qué sectores necesitan mantenimiento y que otros necesitan mejoramiento de subrasante, además se calculó la diferencia de costo entre realizar una base estabilizada con cloruro de magnesio y otra simplemente afirmada, resultando más barato la primera opción en un período de diez años. Finalmente, se calculó los módulos elásticos de la base estabilizada en ambas fajas y se determinó gráficamente su dispersión concluyendo lo importante que es el proceso constructivo en este tipo de pavimentos. (Jiménez, 2014).

## **2.3 BASES TEÓRICAS.**

### **2.3.1 Caminos y Carreteras**

La carretera o ruta es un camino público pavimentado que está dispuesto para el tránsito de vehículos. Debe poseer una resistencia tal a las cargas sobre las que estará sometida para garantizar su durabilidad en el tiempo. Además, cuenta con obras adicionales que ayudan a mitigar el efecto del clima en ellas como son cunetas, pendiente de bombeo, etc.

Una característica indispensable en toda carretera es que debe ser diseñada pensando en la seguridad del conductor, por tanto, su geometría debe evitar, en la medida de lo posible, realizar giros bruscos o verse sometido a pendientes muy inclinadas.

### **2.3.2 Clasificación de caminos**

El manual de diseño geométrico del 2001 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) presenta las clasificaciones de la Red Vial, de acuerdo a diferentes factores, funcionales, geométricas, de demanda y geográficas, que permiten definir claramente la Categoría y Jerarquización de una Vía en el Perú y se presenta a continuación:

### **2.3.2.1 Clasificación de caminos según su función**

- Red vial Primaria:** Conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
- Red vial Secundaria:** Constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.
- Red vial Terciaria o local:** Compuesta por caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones y caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblaciones.

### **2.3.2.2 Clasificación de caminos según su demanda**

- Autopistas: Carretera de Índice Medio Diario Anual (IMDa) mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujo vehicular completamente continuo.
- Carreteras Duales O Multicarril: De IMDa mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos.
- Carreteras de 1ra. Clase: Son aquellas con un IMDa entre 4000-2001 veh/día de una calzada de dos carriles.
- Carreteras de 2da. Clase: Son aquellas de una calzada de dos carriles que soportan entre 2000-400 veh/día.
- Carreteras de 3ra. Clase: Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día.
- Trochas Carrozables Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo.

### **2.3.2.3 Clasificación de caminos según su orografía**

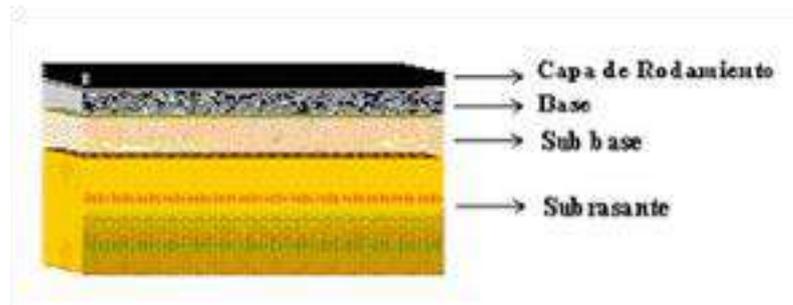
- Carreteras Tipo 1: Permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%.
- Carreteras Tipo 2: Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, sin ocasionar el que aquellos operen a velocidades sostenidas en rampa por un intervalo de tiempo largo. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.
- Carreteras Tipo 3: Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.
- Carreteras Tipo 4: Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

### **2.3.3 Pavimentos**

El pavimento es un sistema estructural compuesto por un conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Debe poseer una calidad aceptable en la superficie de rodadura, una adecuada fricción superficial, una buena geometría por seguridad, y determinado aspecto estético. A nivel estructural debe soportar las solicitaciones a las que se somete todo el paquete estructural (base,

subbase y subrasante), teniendo en cuenta las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales (Ravines Merino, 2010).

Figura II.1 Estructura típica de un pavimento



Fuente: MTC M. d., 2013

#### 2.3.4 Componentes estructurales del pavimento:

Los pavimentos están formados por un paquete estructural constituido por una serie de capas de resistencia decreciente con la profundidad (MTC M. d., 2008). Por lo general se componen de: carpeta de rodamiento, base y subbase apoyado todo este conjunto sobre la subrasante. La función de cada una de las capas del pavimento es doble:

- Distribuir las tensiones provenientes de la parte superior reduciéndolas hasta valores admisibles para las capas inferiores.
- Ser suficientemente resistentes por sí mismas para soportar, sin deformaciones permanentes, las cargas a las cuales están sujetas.

Para carreteras convencionales el pavimento estará constituido por 3 partes llamadas subrasante, subbase y base; sin embargo, en caminos de bajo tránsito el pavimento, donde económicamente no es viable construir un pavimento convencional, se constituye una o varias capas conocidas como capas granulares. A continuación, definiremos cada una de las partes en ambos caso:

### 2.3.4.1 Subrasante

Se denomina subrasante o suelo de fundación a la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento. (MTC M. d., 2013).

Si el terreno de fundación es malo, debe desecharse el material que lo compone, sustituyéndolo por un suelo de mejor calidad; si no es tan malo se le puede colocar una sub-base prescindiendo de ésta última si el material de fundación es bueno o regular (Ravines Merino, 2010). La subrasante tiene una gran influencia en la construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, ya que su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará en Gima. Se identificarán cinco categorías de subrasante tal como se muestra en la Tabla II.3.

Tabla II.3. Categoría de la subrasante según su CBR

Nombre	Subrasante	CBR
S0	Muy pobre	< 3%
S1	Pobre	3% - 5%
S2	Regular	6% - 10%
S3	Buena	11% - 19%
S4	Muy buena	>20%

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones.

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con calificación de ratio de soporte (CBR) igual o mayor de 6%. De ser menor, se deberá desechar el material o estabilizarlo.

En resumen, la función principal de esta capa es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación. Se le considera como la cimentación del pavimento.

#### **2.3.4.2 Sub-Base**

Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub - base de material seleccionado antes de colocar la base (Apuntes de Ingeniería Civil, 2011). Está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo de subrasante y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base. Su finalidad es la de controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante y permitir o transmitir los efectos de la carga de manera uniforme a la subrasante. Además debe servir de drenaje al pavimento para evitar la infiltración de agua, protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se pueden producir, por ejemplo, en las zonas donde existen heladas (congelamiento del agua capilar) y el arrastre de finos.

#### **2.3.4.3 Base**

Esta capa cumple una función netamente estructural. Tiene la finalidad de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, repartir estos esfuerzos a la subbase y por medio de ésta al terreno de fundación.

Las bases pueden ser granulares, o bien estar constituidas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro ligante (Petrioriente, 2011).

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

#### **2.3.4.4 Capa granular**

La capa granular conforman la estructura resistente del pavimento, cuando este no estará sometido a cargas altas (bajo tránsito), siendo la responsable de absorber y distribuir adecuadamente al terreno las tensiones generadas por el tráfico, de manera que no se produzcan deformaciones excesivas. Esta capa puede ser formada con material propio o material de préstamo, y en caso no cumplir con las solicitudes previstas por la carretera se recurre al empleo de alguna técnica de estabilización (MTC M. d., 2008).

#### **2.3.5 Estabilización de Suelos**

##### **2.3.5.1 Generalidades.**

Cuando se presenta un suelo que no reúne las características mecánicas necesarias para trabajar directamente con él, se tendrá tres posibilidades (Ravines Merino, 2010):

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

En el presente trabajo se analiza la alternativa de estabilizar el suelo. Se dice que un suelo es estable cuando alcanza la resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad (Gutierrez Montes, 2010). Por lo tanto, se definirá como estabilización al mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos, obteniéndose un suelo firme y estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

En general puede decirse que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (por ejemplo cemento, cal, cloruro de sodio) el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones.

Entre las aplicaciones de un suelo modificado o estabilizado se encuentran la mejora de los suelos granulares susceptibles a las heladas y el tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir los cambios de volumen, etc. (Ravines Merino, 2010).

### **2.3.6 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras**

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo, como son la estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad son las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de éstas propiedades (Ravines Merino, 2010). Se definirán a continuación:

#### **2.3.6.1 Estabilidad Volumétrica**

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

Para el desarrollo de esta propiedad nos enfocaremos en los suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de hinchamiento o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo de estas características la finalidad principal es transformar esa masa de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa

granulada pero con una capacidad de expansión mínima; esto es unir las partículas que la forman, de tal manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto generalmente se logra con la aplicación de tratamientos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los tratamientos químicos son efectivos; los tratamientos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

#### **2.3.6.2 Resistencia**

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

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

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

#### **2.3.6.3 Permeabilidad**

Es la capacidad que tiene un medio de transmitir agua (u otra sustancia); el medio es permeable cuando éste deja pasar a través de él una cantidad significativa de fluido, y es impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros; en este caso son los espacios vacíos que le permiten absorber el agua; a su vez estos espacios vacíos están interconectados de tal forma que dispone de caminos por los que el

agua puede pasar fácilmente; si no ocurre esto, es decir, la cantidad de espacios vacíos es mínima; entonces el suelo será impermeable.

Si la presión de poros es elevada provocará deslizamientos y el flujo de agua a través del suelo puede provocar el arrastre de las partículas sólidas originando tubificación (Ravines Merino, 2010).

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

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

Según la textura, mientras el suelo sea más fino (textura más fina) más lenta será su permeabilidad (Tabla II.4).

Tabla II.4. Permeabilidad según la textura del suelo.

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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

#### **2.3.6.4 Compresibilidad**

Es el grado en que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Esta propiedad afecta a otras como la permeabilidad; también altera la magnitud y el sentido de las fuerzas interpartículas; modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o pudiendo provocar deslizamientos (Barrera & Garnica, 2002).

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

La compresibilidad es aproximadamente proporcional al índice de plasticidad; mientras mayor es el índice plástico mayor es la compresibilidad del suelo (Ravines Merino, 2010).

#### **2.3.6.5 Durabilidad**

Esta propiedad se relaciona con la resistencia al intemperismo<sup>3</sup>, erosión o a la abrasión<sup>4</sup> del tránsito; generalmente se asocia a los suelos cercanos a la superficie de rodamiento. Una de las maneras de mejorarla es la adición de químicos; dependiendo del tipo de suelo.

#### **2.3.7 Tipos de estabilización**

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo (MTC M. d., 2008). Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (Ravines Merino, 2010). En la actualidad se emplean los siguientes métodos:

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos.
- Estabilización por calor y calcinación.
- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).

#### 2.3.7.1 Estabilización mecánica

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Para ésta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte reduciendo el volumen de vacíos presentes en el suelo. Entre los procedimientos de estabilización mecánica se tiene:

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

Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima, que es un mínimo porcentaje de

la densidad máxima que se obtiene en laboratorio. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado

#### **A. Estabilización por sustitución de suelos**

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar<sup>6</sup>, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén<sup>7</sup>, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) (MTC M. d., 2013). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado.

Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

#### **B. Estabilización por combinación de suelos**

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo. El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa

eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del proyecto, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la Sección 207 del EG-2013 (MTC M. d., 2013).

### **2.3.7.2 Estabilización química**

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto (MTC M. d., 2004). Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido, ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio. Estos agentes consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo, siendo comúnmente cemento, cal, asfalto, cemento portland, entre otros. Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado. Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.
- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.

- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola.

Definiremos algunos tipos de estabilización química a continuación:

#### **A. Estabilización con cal.**

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados. Se aplica a suelos arcillosos buscando reducir su plasticidad.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles logrando mejorar gradualmente la resistencia del suelo de un modo significativo pues baja el potencial de cambio de volumen de estos suelos producidos por las variaciones de humedad, reduciendo el índice de plasticidad (MTC M. d., 2008).

Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia. Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad.

Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

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

## **B. Estabilización suelo-cemento**

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto (MTC M. d., 2011).

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

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

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su  $IP_8$  disminuye, su  $LL_9$  varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se

agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento (IECA, 2011).

### **C. Estabilización con escoria**

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub-base en los pavimentos, en la estabilización de sub-rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso<sup>10</sup>; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales (MTC M. d., 2013). Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente. En caso de escasez de finos, se podrá efectuar una mezcla de escoria, arena fina y cal.

En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño máximo limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada. Además tamaño de agregados mayores a 1 cm al ser despedidos por la acción del tránsito pueden provocar daños a los vehículos así como a las personas.

### **D. Estabilización con polímero**

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

obtener polímeros lineales o en más de una dirección dando lugar a los polímeros reticulares tridimensionales (Ravines Merino, 2010).

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

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

Las técnicas de estabilización no están muy estudiadas aún si bien en el mercado ya se encuentran muy pocos productos a base de polímeros. La estabilización con estos productos tiene el mismo fin que otras técnicas de estabilización: estabilizar e impermeabilizar el suelo para que sean aptos para su uso vial.

Los polímeros actúan como agentes catalíticos de intercambio iónico sobre la fracción activa de las arcillas reduciendo el potencial electrostático de las partículas, quitándoles la capacidad para absorber agua. Con el objetivo que al final el suelo tenga una mayor capacidad de carga y una estabilización permanente. Los polímeros se usan generalmente en carpetas asfálticas, para darles una mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

## **E. Estabilización con productos asfálticos**

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad (MTC M. d., 2013):

- Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.

- Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200,  $LL < 30$  e  $IP < 10$  (MTC M. d., 2008).

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla más adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, éstos podrán ser más viscosos (MTC M. d., 2013).

En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes<sup>12</sup> puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economías (MTC M. d., 2013).

## **2.3.8 Estabilización con aditivo PROES**

### **A. Generalidades**

La Tecnología de Pavimentación PROES® se centra en generar soluciones de pavimentación de alta calidad y durabilidad, optimizando el uso de recursos y cuidando la sustentabilidad ambiental de los procesos.

La estabilización química de los materiales con Tecnología PROES, consiste en la adición al suelo, que previamente ha sido estudiado y analizado, de un aditivo sólido que cumple la función de aglomerante<sup>13</sup> y un aditivo líquido (PROESMR. diluido en agua) que actúa por ionización y ordenación de las partículas del suelo, logrando una mezcla homogénea de suelo, la que será compactada al menos en un 95% de la máxima densidad seca (MDS), con un CBR mínimo de 100 %, en un espesor sugerido de diseño de 110 milímetros. El suelo a tratar químicamente corresponderá al suelo existente, de ser el caso, mezclado con material de préstamo (PROESTECH, 2011).

Obligatoriamente se debe hablar de los factores químicos; ya que es una parte importante en este trabajo; los factores químicos tienen una influencia directa en la permeabilidad; ya que la estructura del suelo se ve influenciada por la naturaleza y por la cantidad de iones presentes; en este caso aquellos elementos que participan directa o indirectamente en las actividades químicas. Por ejemplo: Dependiendo de qué tipos de sales tenga el suelo; éstas alterarán la estructura del suelo; pudiendo aumentar o disminuir la permeabilidad.

Una vez ejecutada la estabilización química con Tecnología PROES se imprimirá la superficie y se colocará como superficie de rodadura un recubrimiento asfáltico consistente en un mortero asfáltico de 10mm o un tratamiento superficial simple (monocapa), según sea el caso.

### **B. Especificaciones técnicas**

En general todos los suelos pueden ser estabilizados químicamente con la tecnología Proes, lo que se necesita hacer, es un estudio de dosificación,

determinando previamente las características físicas, composición mineralógica, PH15 y comportamiento mecánico del material sin tratar. Posteriormente se estudia una dosificación que depende de los índices iniciales y de la estructura que se desea obtener (ejemplo CBR final).

La empresa distribuidora del producto en el Perú Proestech Perú® a menudo caracteriza a los distintos tipos de suelos genéricos que se pueden encontrar en el país de la siguiente manera:

**Arenas (finas, medias y gruesas):**

Pasante por malla N°200: varía entre 0,25% – 10% Índice de plasticidad:

La estabilización para este tipo de suelo considera mezclar el suelo natural con un porcentaje de arcilla que varía entre el 10% y el 20% dependiendo de la plasticidad de este último, de modo que el pasante por malla N°200 de la mezcla de suelo sea superior a 12% y el I.P. mínimo 5%.

Aditivo líquido: entre 0,23 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 45 y 80 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto

**Arcillas:**

Pasante por malla N°200: superior a 50% Índice de plasticidad: superiores a 10%.

La estabilización para este tipo de suelo en algunos casos puede considerar mezclar el suelo natural con un porcentaje de material granular de tamaño máximo 2" que varía entre 20% y 30%. La mezcla de los materiales debe cumplir  $2\% < I.P. < 20\%$ .

Aditivo líquido: entre 0,23 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 40 y 70 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

**Limos:**

Pasante por malla N°200: superior a 50% Índice de plasticidad: inferiores a 10%

La estabilización para este tipo de suelo debe considerar mezclar el suelo natural con un porcentaje de material granular de tamaño máximo 2" que varía entre 25% y 40% dependiendo del CBR del suelo natural. La mezcla de los materiales debe cumplir  $2\% < I.P. < 20\%$

Aditivo líquido: entre 0,24 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 40 y 70 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto

**Maicillos:**

Tamaño máximo: variable

Pasante por malla N°200: inferiores a 50% Índice de plasticidad: varía entre 1% y 15%

La estabilización para este tipo de suelo solamente en algunos casos puede considerar mezclar el suelo natural con un porcentaje de material granular de tamaño máximo 2" que varía entre 15% y 25%.

Aditivo líquido: entre 0,25 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 50 y 65 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto

**Bases estabilizadas:**

Tamaño máximo: malla 2"

Pasante por malla N°200: entre 3% - 12% Índice de plasticidad: sup. 1%

Aditivo líquido: entre 0,22 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 45 y 65 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto

## Bases granulares:

Tamaño máximo: malla 2"

Pasante por malla N°200: entre 3% - 6% Índice de plasticidad: N.P.

Aditivo líquido: entre 0,22 y 0,30 lt/m<sup>3</sup> de suelo compacto.

Aditivo sólido: entre 45 y 65 kg/m<sup>3</sup> de suelo compacto

La estabilización para este tipo de suelo considera mezclar el suelo natural con un porcentaje de arcilla que varía entre el 10% y el 20% dependiendo de la plasticidad de este último, de modo que el pasante por malla N°200 de la mezcla de suelo sea superior a 12% y el I.P. mínimo 3%.

Todos los porcentajes de suelos a mezclar, así como las cantidades de aditivos líquido y sólido, deberán ser ratificados en el estudio de dosificación por algún laboratorio de mecánica de suelos, al momento de determinar el sector donde se aplicará la Tecnología Proes. A continuación se muestra un algoritmo del proceso que se utiliza para estabilizar con tecnología PROES.

Figura II.2 Esquema de dosificación de una base con tecnología Proes



Fuente: Proestech Perú®

### **C. Limitaciones meteorológicas**

Para realizar faenas de estabilización con tecnología PROES es necesario que la temperatura ambiente sea superior a 10°C por al menos 4 horas del día durante el primer mes de curado.

La condición de temperatura anterior debe cumplirse para evitar el fenómeno de “latencia”, que es cuando la temperatura es menor a 8 °C, la reacción química se paraliza hasta que la temperatura supere los 10 ° C.

Se debe suspender la estabilización química cuando las condiciones climáticas predominantes en esa temporada se estimen como lluviosas y frías (temperaturas que no superan los 10°C y precipitaciones frecuentes).

### **D. Carpeta de rodado**

El sector a estabilizar puede ser transitado durante y después de la estabilización, a excepción de encontrarnos en una situación climatológica de exceso de humedad. Sin embargo, la base estabilizada con tecnología PROES está diseñada primordialmente para aumentar capacidad estructural al pavimento y no como carpeta de rodado permanente, ya que la acción abrasiva del tráfico la desgasta.

Para proteger la base estabilizada PROES y aumentar la vida útil, requiere sellar la base con algún tratamiento asfáltico u otro que determine el proyecto.

La base PROES es una base ligada, impermeable, altamente cohesiva, flexible y con resistencia a la compresión en el rango de 30 kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días de iniciada la reacción (Módulo Elástico > 500 MPa). Estas características permiten que la carpeta de rodado sea diseñada exclusivamente para resolver el tema de la abrasión y no para agregar capacidad estructural al pavimento.

Dependiendo del tráfico, clima, estándar requerido y otras condiciones de operatividad, se pueden usar carpetas de rodado desde una imprimación asfáltica reforzada con emulsiones, un slurry seal (Figura II.3) o una mezcla

de asfalto en caliente de espesor hasta 4 cm, que será determinado por diseño Figura II.4). También se pueden utilizar otros sistemas de carpeta de rodado, tales como adocreto o adoquín, losas de hormigón y otros sellados no asfálticos.

Figura II.3 Riego de Liga



Fuente: elaboración propia

Figura II.4 Colocación de slurry seal



Fuente: elaboración propia

Las especificaciones de materiales y métodos de aplicación es el estándar de cada carpeta de rodado, con la sola excepción del proceso de imprimación que para el caso particular de esta tecnología corresponde a un “riego de liga” y para él se deberá utilizar emulsiones asfálticas de quiebre lento del tipo CSS-1h diluidas 1:3 en agua, en una tasa de 0,8 a 1,0 lt/m<sup>2</sup> (diluido). La tasa de

residuo asfáltico estará entre 0,17 y 0,22 lt/m<sup>2</sup>. Para el caso de una imprimación reforzada, posterior al riego de liga especificado en párrafo anterior, se realiza un segundo riego de CSS-1h diluido en agua (1:1) a una tasa de 0,8 lt/m<sup>2</sup> a 1,0 lt/m<sup>2</sup> (de la solución), más esparcido de arena inmediatamente después del segundo riego de liga. Se entrega posteriormente al tránsito.

### **2.3.9 Características de desempeño dentro de la conservación vial**

Es necesario definir aquellos parámetros que debemos controlar para que se asegure el correcto desempeño de la carretera en estudio. Estos parámetros varían dependiendo del tipo de contrato al que está sujeta la carretera y a las características propias de la misma. Por esta razón, se definirá el tipo de contrato que regirá sobre la carretera y a partir de ahí se hablará de los parámetros a evaluar.

### **2.3.10 Contratos de Conservación vial por Niveles de Servicio (CCVNS)**

La gestión de conservación de carreteras en el Perú, comenzó a ser medida por Niveles de Servicio, por primera vez hace 18 años, a través de las concesiones viales (IVA, 2011). A partir del año 2007 se crea el “Proyecto Perú”, como parte de la estrategia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se vienen entregando Contratos de Conservación de carreteras por Niveles de Servicio, que representan un cambio fundamental en la gestión de conservación vial nacional, lo cual ha hecho que tome mayor relevancia el contar con parámetros de medición acordes a las necesidades de los usuarios y realidad de nuestro país.

#### **2.3.10.1 Generalidades.**

La conservación vial es una parte muy importante de la gestión vial pública destinada a lograr que el Estado, en sus diversos niveles de gobierno, logre proteger las carreteras a lo largo de su vida útil, evitando su deterioro prematuro para beneficio de la comunidad nacional. La conservación vial es un proceso integral que en lo económico tiene el objetivo de optimizar el uso del dinero y preservar

el valor del patrimonio vial de la Nación que, en el caso del Perú, es particularmente importante en razón de los elevados costos de inversión para la construcción de carreteras que significa vencer la morfología mayoritariamente agreste del territorio nacional, frente a las limitaciones de recursos del país.

Según Provías Nacional (MTC M. d., Provias Nacional), los CCVNS se fundamentan en que el contratista debe realizar esfuerzos por mantener los caminos según las condiciones de niveles de servicio del camino que estipule el contrato. Esto significa en la práctica actuar permanentemente para mantener siempre limpias las obras de drenaje, sellar las fisuras cuando aparezcan, limpiar los cauces para conservar la capacidad hidráulica de las obras, estabilizar y proteger los taludes, reponer periódicamente los afirmados y colocar refuerzos en las capas asfálticas, entre otras.

#### **2.3.10.2 ¿Qué es un nivel de servicio?**

Normalmente en el ámbito de la ingeniería vial, se conoce el Nivel de Servicio como un indicador de volumen de tránsito y capacidad de las carreteras. Sin embargo también desde inicio de la década de los años 90, es un indicador de desempeño en la gestión de la conservación de carreteras (Obando, 2014). Es de este indicador del que se hablará en esta tesis. Un Nivel de Servicio de conservación vial podemos resumirlo como un indicador de la calidad de la carretera. El MTC (MTC M. d., 2013, pág. 30) los define textualmente, como aquellos “indicadores que califican y cuantifican el estado del servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales puede evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad”.

En resumen podemos señalar que un nivel de servicio, es un parámetro que permite medir el grado de calidad y de desempeño de la gestión de conservación de una carretera, buscando compatibilizarla con la percepción de calidad de servicio que tiene el usuario.

### **2.3.10.3 Parámetros de medición de un nivel de servicio**

Los principales indicadores o parámetros de medición de niveles de servicio, se encuentran agrupados en las siguientes categorías (Obando, 2014):

- Niveles de servicio de pavimento o parámetros de calzada o parámetros de bermas
- Niveles de servicio de seguridad vial o parámetros de señalización horizontal o parámetros de señalización vertical o parámetros de elementos de defensa y encarrilamiento.
- Niveles de servicio de Puentes.
- Niveles de Servicio de Drenaje.
- Niveles de servicio de la franja de derecho de vía.
- Nivel de saturación respecto de la capacidad, etc.

El parámetro de mayor relevancia y reconocimiento a nivel mundial, es el IRI (Índice Internacional de Rugosidad), ya que es el mejor indicador de la calidad funcional de una carretera (Orozco, Telles, & Solorio, 2004). Otros indicadores muy conocidos para la calzada, son la cantidad de baches en la calzada, el grado de agrietamiento, grado de ahuellamiento, etc. En seguridad vial, normalmente se mide la visibilidad diurna y nocturna a través de parámetros como la retroreflectividad, el color, la luminancia y el contraste.

Una tratamiento especial reciben las carreteras, como la estudiada en esta tesis, denominadas “carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito” en las que su nivel de saturación respecto de la capacidad no es un parámetro crítico, los niveles de servicio establecen las condiciones en que deben conservarse las carreteras (MTC M. d., 2008). Estas deben en todo momento presentar un estado igual o menor que el nivel especificado. En este sentido, los “niveles de servicio” deben referirse a conceptos de: a)

Transitabilidad garantizada la mayor parte del tiempo; b) seguridad; y c) comodidad operativa medida en términos de rugosidad de la carretera.

### **A. Transitabilidad.**

El concepto de “Transitabilidad” en el Perú define una situación de “disponibilidad de uso” (MTC M. d., 2008). Demuestra que una carretera específica está disponible para su uso, es decir, que no ha sido cerrada al tránsito público por causas de “emergencias viales” que la hubieran cortado en algún o en algunos lugares del recorrido, como consecuencia de deterioros mayores causados por fuerzas de la naturaleza, tales como deslizamientos de materiales saturados de agua (“huaicos”), desprendimiento de rocas, pérdidas de la plataforma de la carretera, erosiones causadas por ríos, caída de puentes, etc. por ejemplo. Este tipo de problemas, es el que causa mayor impacto en la vida de las poblaciones del país y ocurre mayormente en periodos de lluvias.

### **B. Seguridad**

En el caso de niveles de servicio, el concepto de seguridad se traduce en el valor que adquiere el índice de accidentalidad, valor que nos ofrece una estimación del número de muertes que podrían ocurrir en una carretera por cada 100 millones de vehículos que atraviesan un kilómetro de la misma al año. Internacionalmente se manejan rangos dependiendo al nivel de desarrollo económico en el que se encuentra el país. Así, para países desarrollados, el índice de muertes va de 1 a 5; para países que se encuentran en un proceso intermedio de desarrollo, el rango va de 5 a 10 muertes; y para países prácticamente en el subdesarrollo, se tiene rango mayor a 10 muertes por cada 100 millones de veh-km/año (Estudio de Seguridad Vial en el Perú. MTC – BM).

Ya que en el Perú no se tienen estudios que establezcan por separado los índices de accidentalidad para las carreteras de alta demanda y baja demanda, se suele adoptar un rango mayor a 10 muertes por cada 100 millones de veh-km/año (MTC M. d., 2008). Además, se tiene la referencia internacional que indica mayor riesgo de ocurrencia de accidentes en

carreteras de bajo volumen de tránsito donde el conductor está menos atento respecto de la aparición de otros vehículos.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta estos valores al momento de diseñar la carretera para tratar de mitigar lo máximo posible este efecto.

### **C. Comodidad en la conducción**

Si bien este concepto a simple vista podría parecer común, desde el punto de vista de la Ingeniería Vial resulta muy importante porque indica la apreciación de carácter operativo-económico que responde a la tecnología desarrollada por el Banco Mundial, sistematizada por el modelo de evaluación económica Highway design and maintenance standards Models (HDM) de uso universal para el estudio de los proyectos y la gestión vial. Esto se fundamenta en el Modelo de Deterioro de las Carreteras, desarrollado mediante investigaciones de hace más de cuarenta años y que continúa vigente.

En este contexto, la comodidad es medida en términos del Índice Internacional de Rugosidad o IRI.

#### **2.3.11 Indicadores de desempeño**

Para asegurar que la carretera en estudio alcance valores adecuados que aseguren un nivel de serviciabilidad óptimo de acuerdo al contrato al que se rige definido anteriormente, se medirán una serie de indicadores, propios de este tipo de contrataciones. Serán definidos a continuación.

##### **2.3.11.1 Índice Internacional de Rugosidad (IRI)**

En 1982, el IRI fue propuesto por el Banco Mundial como un índice estándar para medir la rugosidad del pavimento (Sayers, Gillespie, & Queiroz, 1986). El IRI se expresa en unidades de pendiente, medidas por la acumulación de la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando ésta recorre la superficie a una velocidad de referencia de 80 km/h (Romero, 1996). En este sentido, es un índice de

comodidad de rodadura, y constituye el parámetro de la vía que percibe el usuario.

Así el IRI describe las vibraciones del vehículo causadas por la irregularidad del perfil y es linealmente proporcional a la rugosidad de la vía. El valor más bajo,  $IRI=0$ , corresponde a un perfil plano. Aunque no existe un límite superior para el IRI, en la práctica los valores por encima de 8 m/km, indican un pavimento impasable por un vehículo excepto a velocidad reducida (MTC M. d., 2013).

### A. Modelo matemático del IRI: El modelo del “Cuarto de Coche”

Para confeccionar la definición del IRI, los expertos del Banco Mundial crearon, en los años 80, un modelo denominado “cuarto de auto” o “Quarter Car”, que simulaba la cuarta parte de un auto, y que constaba de los siguientes parámetros para la definición del IRI (Romero, 1996):

Figura II.5 Modelo Matemático de un Cuarto de Auto



Fuente: Instituto Mexicano de Transporte, 1996

Dónde:

- $L$ = Longitud de cálculo del IRI
- $v$ = Velocidad de circulación del vehículo
- $m_1$ = Masa inferior
- $m_2$ = Masa superior o suspendida
- $K_1$ = constante de rigidez de la suspensión primaria (entre el pavimento y la masa inferior), es decir del neumático

- $K_2$ = constante de rigidez de la suspensión secundaria (entre la masa inferior y la masa superior) es decir la suspensión del vehículo
- $C_1$ = constante de amortiguación de la suspensión primaria
- $C_2$ = constante de amortiguación de la suspensión secundaria

Los valores de estos parámetros, para el “Quarter Car”, han de ser los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II.5 Valores para el cálculo del IRI en el modelo de Cuarto de Auto

--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte, 1996

Con este modelo definido, el concepto de IRI se materializa como la representación de un modelo matemático, que simula el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de coche), al circular por una determinada longitud del perfil de carretera, a una velocidad estándar de 80 Km/h. Las unidades en las que se mide este valor son m/Km o dm/Hm.

### **B. Metodología para la medición:**

La medición del IRI de un pavimento consiste esencialmente en cuatro pasos (Mellis, 1992):

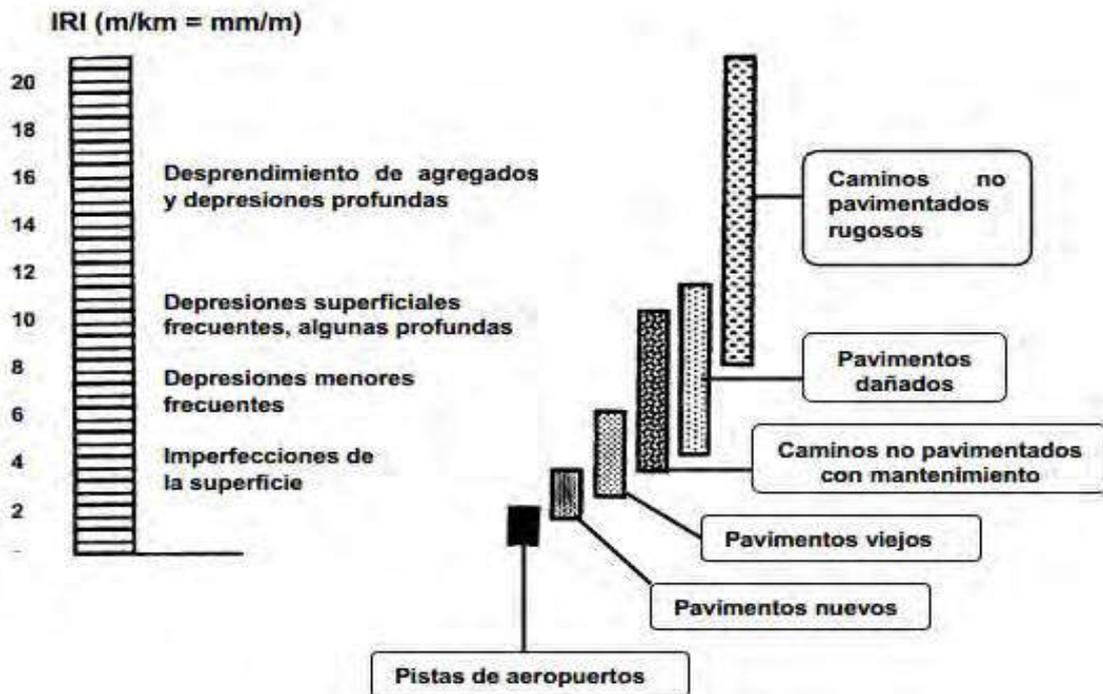
- La medición física de un perfil longitudinal simple.
- Dicho perfil se filtra empleando la media móvil sobre una base de 250 mm de largo. Este filtrado simula el efecto suavizante de la deformación del neumático.
- El perfil resultante se vuelve a filtrar mediante la simulación del cuarto de auto. Esta simulación registra la respuesta física de un auto “ideal” que transita sobre el perfil a una velocidad de 80 km/h.

- El IRI (m/km) se calcula como el movimiento acumulado (m) de la suspensión del auto "ideal", dividido por la longitud del perfil transitado (km).

### C. El Índice Internacional de Rugosidad en una red de carreteras.

La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y los factores climáticos (MTC M. d., 2008).

Figura II.6 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.

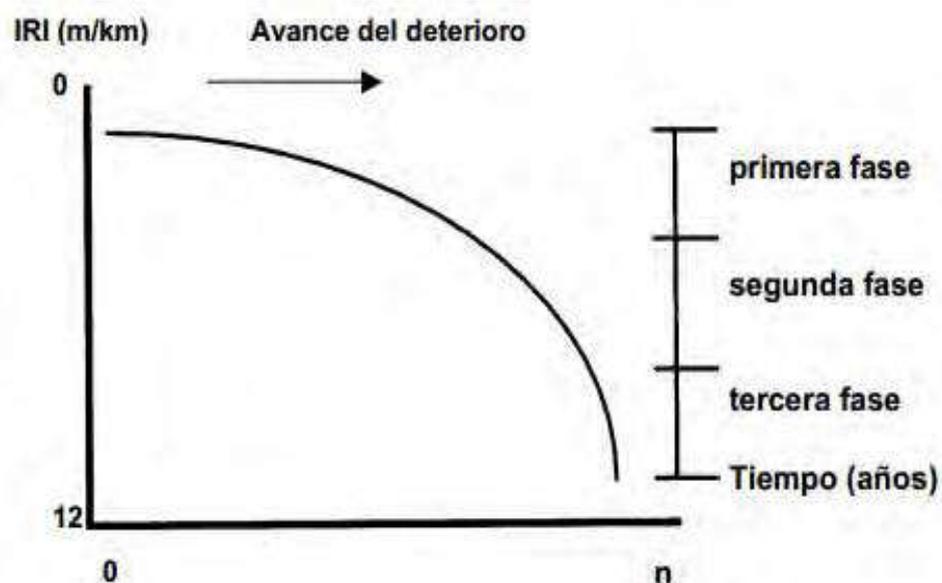


Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 1991

A nivel de red, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo (Arriaga, Garnica & Rico, 1998).

El comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo se puede representar en la Figura II.7, en la que se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc., que ocasionan la disminución de la calidad superficial. Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más acusado que en la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativa de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

Figura II.7 Gráfica de avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.



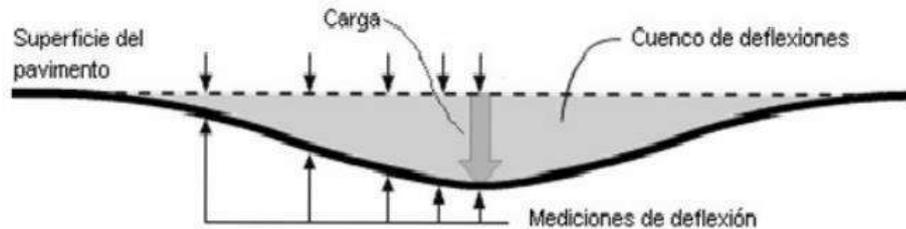
Fuente: Instituto Mexicano del transporte, 1998

### 2.3.11.2 Deflectometría

Es una medición de la deformación o hundimiento de la superficie del pavimento cuando se aplica un peso estándar (Dynatest Chile S.A., 2010). Las sollicitaciones de carga inducen a la estructura de pavimento a un desplazamiento en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas, generalmente del orden de centésimas o milésimas

de milímetro. Este desplazamiento vertical es conocido con el nombre de deflexión.

Figura II.8 Cuenco de deflexiones



Fuente: Instituto Mexicano del transporte, 1998

Cuando este desplazamiento vertical se presenta bajo una carga normalizada producto de la utilización de un equipo como el deflectómetro de impacto, sus resultados son útiles para poder interpretar el estado o condición estructural de un pavimento.

Estos datos son utilizados en “metodologías de cálculo inverso o Retrocálculo” (Leal Noriega, 2010), para estimar y analizar diversos parámetros estructurales, tales como los módulos de las capas que conforman un pavimento, el número estructural que representa la resistencia total de toda la estructura o la vida residual o remanente de la misma, entre otros.

Las deflexiones pueden determinar el estado crítico existente en alguna de las capas interiores de la estructura de un pavimento (Dynatest Chile S.A., 2010), razón por la cual se podrá encontrar un pavimento con daños superficiales que presente bajas deflexiones y otro en buen estado con altas deflexiones.

Entre las deflexiones más utilizadas se encuentran: El área del cuenco de deflexiones y la deflexión máxima o valor máximo de desplazamiento vertical bajo la aplicación de la carga.

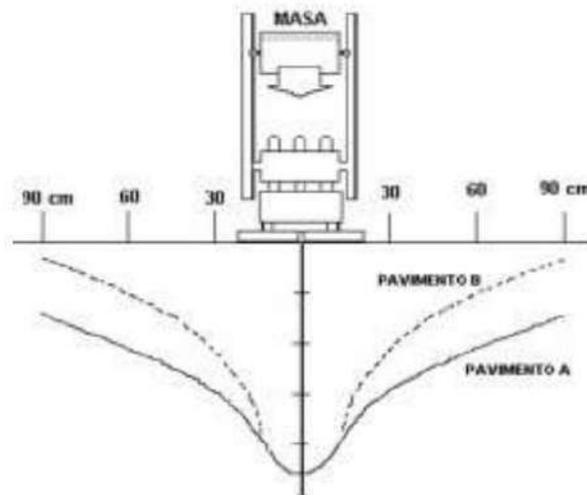
### A. El Área Del Cuenco De Deflexiones

Su estimación de cálculo fue desarrollada por el Ingeniero Mario Hoffman en el año 1981 y fue adoptada para fines de análisis y diseño por la guía AASHTO. Su formulación está definida por la siguiente expresión:

$$Area = 150 * \left[ 1 + 2 \left( \frac{d_{30}}{d_0} \right) + 2 \left( \frac{d_{60}}{d_0} \right) + \frac{d_{90}}{d_0} \right]$$

El valor del área nos permite diferenciar el comportamiento de dos estructuras de pavimento que puedan llegar a tener entre sí el mismo valor de deflexión máxima (ver Figura II.9). Aunque el pavimento A y B poseen la misma deflexión máxima ( $d_0$ ), su valor de Área del Cuenco de deflexión será diferente; mayor para el pavimento A que para la estructura B, lo que implica que el comportamiento estructural del primero ante la acción de las cargas será mejor que para el segundo.

Figura II.9 Representación de dos cuencos de deflexión diferentes con un mismo valor de deflexión máxima ( $d$ ).



Fuente: Shahin, 1994.

Como resultado del análisis de una serie de datos obtenidos del cuenco de deflexión y de la deflexión máxima, ha sido posible establecer una serie de criterios básicos para la adecuada interpretación del comportamiento estructural de un pavimento (Tabla II.6).

Tabla II.6 Interpretación del comportamiento de un pavimento con base en resultados del área del cuenco de deflexión y la deflexión máxima.

<b>ACD</b>	<b>do</b>	<b>Interpretación</b>
Baja	Baja	Pavimento Débil / Subrasante
Baja	Alta	Pavimento Débil / Subrasante Débil
Alta	Baja	Pavimento Fuerte / Subrasante Fuerte
Alta	Alta	Pavimento Fuerte / Subrasante Débil

Fuente: De Solminihac, 2001

## **B. Deflexión Máxima**

Si un cuenco de deflexión generado por un equipo FWD posee un alto valor de deformación bajo el centro de aplicación de carga es posible que indique una baja capacidad de soporte en alguna de las capas de la estructura y/o en la Subrasante (Dynatest Chile S.A., 2010). Para poder comparar diversos tramos de pavimento a partir de su deflexión máxima se hace necesario normalizar la deflexión al igual que la carga aplicada. La fórmula establecida para dicha normalización se presenta a continuación:

$$do \text{ normalizada} = \frac{do * \text{carga normalizada}}{\text{carga aplicada}}$$

## **C. Metodologías de cálculo inverso o retrocálculo:**

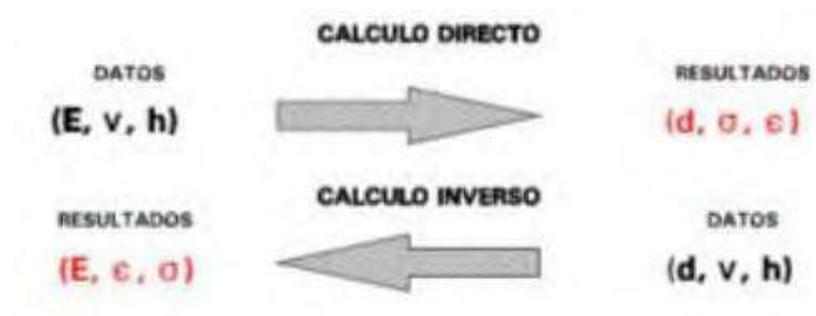
Las diferentes herramientas computacionales empleadas para el diseño de pavimentos permiten calcular los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones de una estructura determinada si se conoce el valor de la carga aplicada, el espesor de las capas de pavimento y los parámetros estructurales de las mismas, como su módulo y su coeficiente de Poisson<sup>17</sup> (Leal Noriega, 2010). Por medio de estos procedimientos de cálculo, es posible obtener los valores de deflexión que se originarán en la superficie de la estructura a diferentes distancias de la carga, obteniendo de esta manera la curva de deformación del pavimento.

El proceso de retrocálculo es una técnica empleada para evaluar la capacidad estructural de un pavimento que consiste en la determinación de los valores de los módulos de cada una de las capas a partir de las deflexiones medidas sobre su superficie.

Este procedimiento (Figura II.10) también es conocido como cálculo inverso debido a que los datos de entrada son la curva de deformación del pavimento, el espesor de cada una de las capas del pavimento y la carga aplicada a la estructura (Medina & otros, 2000).

Figura II.10 Datos requeridos para el cálculo directo y el cálculo inverso.

#### Nociones básicas de cálculo inverso de firmes

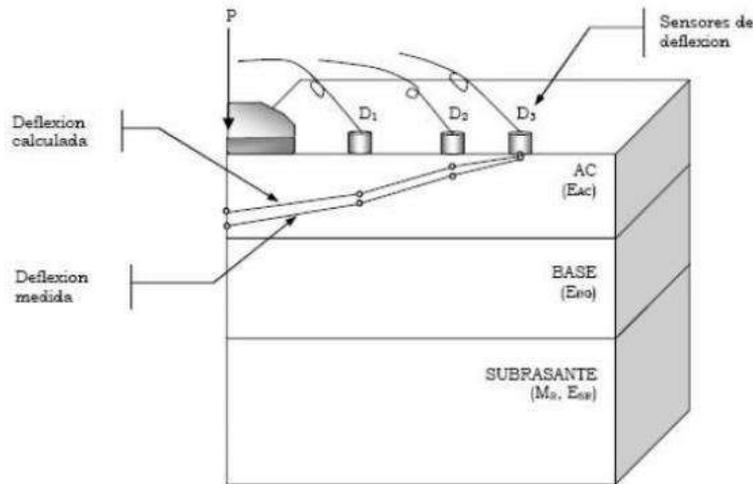


Fuente: Medina & otros, 2000

El retrocálculo involucra el cálculo de deflexiones teóricas asumiendo en primera instancia algunos valores predeterminados para los módulos de cada una de las capas.

Estos valores teóricos de deflexión son comparados con los valores de deflexión medidos a través de equipos como el FWD. Mediante un proceso iterativo se ajustan las curvas de deformación teóricas y medidas hasta que presenten un ajuste razonable; cuando esto ocurre, se considera que los módulos obtenidos son característicos de la respuesta del pavimento (Figura II.11).

Figura II.11 Comparación del cuenco de deflexión medido y teórico.



Fuente: Velásquez, 2005.

La adecuada convergencia o no de estos valores de deflexión puede ser determinada por medio del parámetro del error medio cuadrático (RMS). Se estima que al final de un correcto proceso de retrocálculo el valor del error medio cuadrático (RMS) deberá ser igual o inferior a un 2% (Dynatest Chile S.A., 2010).

Debido a que generalmente los valores de los módulos de subrasante son mayores por el método de retrocálculo que por resultados obtenidos de ensayos de laboratorio, la guía de diseño AASHTO ha estimado que se debe aplicar un factor de corrección que otorgue mejores aproximaciones de módulo para los valores retrocalculados (Medina & otros, 2000). Este factor de corrección se asume igual a 0,33 y para su uso no se tiene en cuenta el tipo de suelo existente en la subrasante.

### 2.3.11.3 Número Estructural

#### A. Definición

El número estructural (SN) de un pavimento es un valor abstracto que expresa la resistencia estructural del pavimento en general requerido para combinaciones de las sollicitaciones que soportará la carretera. Se utiliza para determinar el grosor total que tendrá el paquete estructural de la carretera.

## B. Función del número estructural

El diseño formal de pavimentos hoy en día se fundamenta en cálculos de ingeniería basados en ecuaciones de diseño establecidos, como las ecuaciones empíricas que se encuentran en la Guía de 1993 AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos. Un elemento crítico de la ecuación de pavimento flexible es, como se mencionó antes, el número estructural, lo que representa el requisito general de la estructura necesaria para sostener las cargas de tráfico previstos en el diseño. El número estructural requerido depende de una combinación del soporte del suelo, las cargas totales de tráfico, capacidad de servicio del pavimento, y las condiciones ambientales, según la ecuación sugerida por AASTHO (1993).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Aunque la ecuación de diseño antes descrita se puede utilizar de diferentes maneras dependiendo de las entradas disponibles, una de sus aplicaciones más comunes es eficaz para resolver el número estructural.

## C. Relación con capas de pavimento

El número estructural es un valor que se aplica al total de la estructura del pavimento, pero para completar el diseño todavía se tiene que conseguir de este valor los espesores de las capas individuales. Esto se maneja utilizando una ecuación del tipo mostrado en la ecuación sugerida por AASTHO (1993):

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 M_2 + a_3 D_3 M_3 + \dots$$

Esta fórmula se puede adaptar a cualquier número de capas del pavimento, ya que cada expresión (tal como un  $a_2 D_2 M_2$ ) en la fórmula corresponde a una sola capa, de modo que las variables en la expresión corresponden a las características de dicha capa. El número del subíndice se utiliza en la

expresión simplemente para indicar de qué capa se refiere. Las variables representan lo siguiente:

A = un coeficiente de capa que representa la fuerza relativa del material

D = espesor de la capa en pulgadas

M = coeficiente de drenaje

Los coeficientes de capa y drenaje son valores que deben reflejar las características del material que se utilizarán para construir esa capa de pavimento. Los espesores de las capas individuales son los que efectivamente se están utilizando la ecuación de diseño y el número estructural que se encontrará para ellos.

#### **D. Coeficiente de capa**

Dado que el coeficiente de capa representa la resistencia del material, esta es la principal variable en el tipo de material que se va a utilizar para cada capa. Para fines de diseño, los coeficientes de capa se determinan empíricamente basándose en el rendimiento del material. Algunas empresas constructoras del rubro a menudo establecen valores específicos de coeficiente de capa para materiales de uso común como una política de diseño estándar. Algunos valores típicos del coeficiente de capa son (ASSTHO, 1993):

- Mezcla asfáltica en caliente - 0.44
- Mezcla asfáltica de baja estabilidad - 0,20
- Base de agregado - 0.13
- Relleno mecanizado - 0.10

Puesto que el coeficiente capa puede ser afectado por las propiedades del material, así como la posición de la capa en la que se usará el material, en algunos casos se utilizan diferentes valores que podrían ser más apropiados para las condiciones locales.

## **E. Coeficiente de drenaje**

Un coeficiente de drenaje es un valor asignado a una capa de pavimento que representa su pérdida relativa de fuerza debido a características de drenaje y la exposición a saturación por humedad. Aquellas capas que drenan lentamente o que, a menudo, están saturadas tendrían un coeficiente de drenaje menor, mientras que las capas que drenan rápidamente y casi nunca se saturan tendrían un coeficiente de drenaje superior. Para la mayoría de los diseños de pavimento y por comodidad de cara al diseño, se suele establecer un coeficiente de drenaje igual a 1 (MTC M. d., 2008), que indica características de drenaje normales.

Otro punto a tener en cuenta es que debido a que el número estructural se utiliza para calcular los espesores de las capas, el cambio de un coeficiente de drenaje sólo tendrá un impacto en el espesor de la capa de pavimento para la cual se realizó el cambio. No va a hacer que cualquier capa sea más densa o resolverá los problemas de drenaje de otras capas. Si hay un problema de drenaje real con una de las capas, es mejor diseñar un sistema de drenaje para dicha capa o aumentar la densidad de la misma para reducir al mínimo la infiltración de agua.

## **F. Espesor**

Una vez que se hayan decidido los coeficientes de capa y drenaje adecuados, se pueden trabajar espesores adecuados para cada una de las capas del pavimento. El método AASHTO también se puede aplicar a la evaluación de pavimentos existentes, así como el diseño de nuevas estructuras de pavimento. Por ejemplo, cuando se considera que un pavimento necesita rehabilitación, los espesores de las capas existentes podrían ser unidos para determinar un número estructural para el pavimento en su lugar; comparando esto con el número estructural requerido para el diseño actualizado daría una indicación del tipo y espesor del tratamiento de rehabilitación necesario.

Vale la pena señalar que, aun cuando se haya determinado el número estructural, esto no dicta automáticamente una única respuesta correcta para

espesor de la capa de pavimento. Suponiendo que hay más de una capa estructural, normalmente habrá diferentes combinaciones de espesor de la capa que podría alcanzar el número estructural requerido. Sin embargo, con base en los costos relativos de los materiales para las diferentes capas, junto con consideraciones prácticas de construcción (como no hacer una sola capa excesivamente gruesa o delgada), es probable que la definición del número estructural dirija a una combinación particular de espesores de capa.

#### **2.3.11.4 Compactación de suelos:**

La compactación es el proceso realizado generalmente por medios mecánicos por el cual se obliga a las partículas de suelo a ponerse más en contacto con otras, mediante la expulsión del aire de los poros, lo que implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, lo que produce en el suelo cambios de volumen de importancia, principalmente en el volumen de aire, ya que por lo general no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación, siendo por lo tanto la condición de un suelo compactado la de un suelo parcialmente saturado (Villa, 2013).

#### **A. Objetivo de la compactación:**

El objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades de ingeniería de la masa de suelos, con la finalidad de obtener un suelo estructurado de manera que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. Entre las ventajas que podemos encontrar al compactar un suelo tenemos (Tello, 2012):

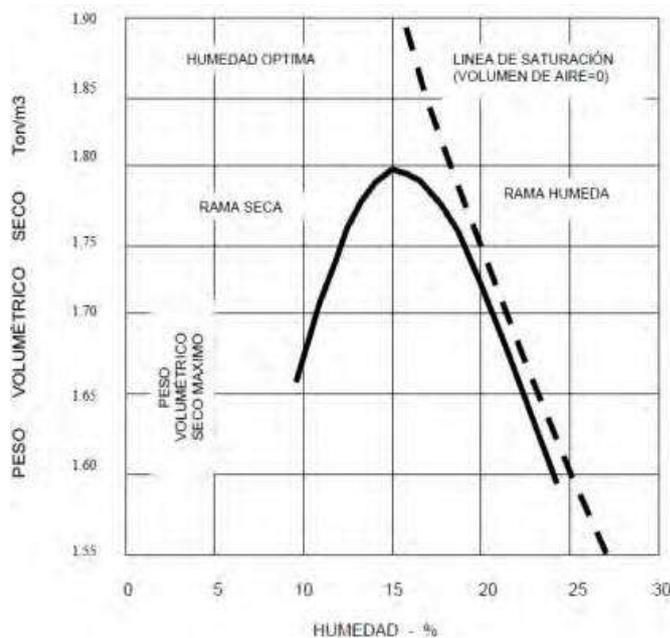
- Aumenta la resistencia y capacidad de carga del suelo.
- Reduce la compresibilidad y disminuye la aptitud para absorber el agua.
- Reduce los asentamientos debido a la disminución de la relación de vacíos.
- Reduce el efecto de la contracción.

- Mejora las condiciones esfuerzo-deformación del suelo. Y entre las desventajas se puede mencionar:
- La compactación muy intensa produce un material susceptible al agrietamiento.
- Aumenta el potencial de hinchamiento (con humedad) en suelos finos y el potencial de expansión por las heladas.

## B. Curva de compactación

Cuando se compacta un suelo bajo diferentes condiciones de humedad y siendo cualquiera el método empleado, se relacionan las densidades con los porcentajes de humedad, lo que da como resultado una curva como la que se muestra en la Figura II.12.

Figura II.12 Curva humedad vs densidad



Fuente: MTC, 2000

Las curvas nos indican un máximo absoluto para el valor de la densidad (MDS) y la humedad correspondiente a este punto (OCH).

Cada suelo tiene su propia curva de compactación, que es característica del material y distinta de otros suelos.

A la parte de curva situado al lado izquierdo se le conoce como rama seca y al de la derecha como rama húmeda.

### **C. Métodos de compactación y equipos**

El Departamento de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería (Tello, 2012) clasifica la compactación de campo de acuerdo a la forma de aplicación de la carga de la siguiente manera:

- a) Compactación por amasado: Este tipo de compactación es apropiada para los suelos finos (cohesivos). Se caracteriza por realizar la compactación del suelo de abajo hacia arriba, originando una mayor presión en el lecho inferior. Los equipos por amasado están constituidos básicamente por el rodillo de pata de cabra. Se recomienda compactar en capas de 0.30 metros de espesor, utilizando una penetración de vástago del 20% al 50% de su longitud de acuerdo a la plasticidad del suelo en un número de pasadas mayor o igual a 12 veces.
- b) Compactación por presión: Este tipo de compactación es utilizada principalmente en suelos gravosos y arenosos limpios, así como para el acabado de la superficie superior de las capas compactadas en los concretos asfálticos. Se caracteriza por realizar la compactación de arriba hacia abajo al contrario del caso anterior, disminuyendo la profundidad de la capa. Los equipos por presión están constituidos por los rodillos lisos y neumáticos. Se recomienda compactar en capas sueltas de 20 cm en un número no menor a 8 pasadas.
- c) Compactación por impacto: Este tipo de compactación se utiliza en suelos plásticos o suelos granulares, pero en general se puede utilizar en cualquier tipo de suelo, siempre y cuando sean áreas pequeñas. Los equipos utilizados son los pisones y se recomiendan un número aproximado de 4 pasadas.

- d) Compactación por vibración: Se utiliza en suelos granulares y gravas con pocos finos plásticos (en un orden de 10%) así como en la compactación de arenas de granulometría cortadas. Producen una disminución o casi suprimen el rozamiento entre los granos, teniendo una acción notable en la profundidad mas no así en la superficie. Los equipos constituyen los rodillos vibratorios. Se puede compactar con capas hasta de 60 cm y se recomienda un mínimo de 8 pasadas.

#### **D. Control de Compactación:**

La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo, la que presenta diferentes valores al ser medida en el campo y en laboratorio, debido a la diferencia de condiciones existentes.

Es necesario indicar que la densidad seca no solamente es función de la compactación recibida sino de otros factores como: granulometría, humedad, efecto yunque, espesor real de la capa en un punto dado, angularidad, error accidental de la medida, etc., los que varían de un punto a otro originando fluctuaciones en los resultados para una misma calidad de compactación, siendo necesario una aproximación de +/- 3 puntos y desviación de 0.08 gr/cm<sup>3</sup> para suelos de grano fino y 0.16 gr/cm<sup>3</sup> para suelos de grano grueso.

## **2.4 Ensayos**

### **2.4.1 Integrador de Resaltes o Bump Integrator**

Existen varios equipos para el levantamiento de información sobre la regularidad de un perfil longitudinal, basados en distintos principios y tecnologías. Estos equipos han ido evolucionando a lo largo del tiempo; como consecuencia, aquellos para determinar la regularidad son muy distintos unos de otros (Castro, 2009). A pesar de existir un Índice Internacional de Rugosidad, los indicadores utilizados internacionalmente varían considerablemente. Entonces, se llevó a cabo un intento de normalizar las medidas a través de la inserción de un equipo llamado Integrador de resaltes o su nombre en inglés Bump Integrator, equipo que consta de tres partes fundamentales para su funcionamiento:

- Una Rueda
- Un muelle
- Un amortiguador asociado (modelo de cuarto de coche)

El desplazamiento del neumático con respecto a la rueda se registra como el movimiento vertical y es acumulado por un integrador, el índice de regularidad establecido en el caso de la utilización de este equipo es la sumatoria en valor absoluto de los desplazamientos verticales para determinado intervalo dividido por la longitud de dicho intervalo.

De esta manera se registra el valor de la regularidad longitudinal en m/Km, es decir, metros verticales acumulador por la suspensión del vehículo por un kilómetro viajado.

Al final de la década de los setenta, y con la intervención del programa de investigación National Coordinated Highway Research Program (NCHRP), se establece el método de calibración de este tipo de dispositivos para la obtención de la regularidad, que con parámetros normalizados deja dos variables para el cálculo:

- La velocidad del vehículo.
- Si la simulación del perfil se genera para una o ambas huellas de las ruedas.

Así, se define el índice internacional de rugosidad como el desplazamiento acumulado dividido por la distancia recorrida del cuarto de coche normalizado a 80 km/h. Actualmente es el método más aceptado a nivel internacional para el cálculo del perfil longitudinal.

#### **2.4.2 Rugosímetro Merlin**

El rugosímetro Merlin, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial (Sayers M., 1986) los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de clase 1 los más exactos (mira y nivel, TRRL beam, perfilómetros estáticos). La clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la clase 1. Los métodos clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump Integrator, Mays meter). Los métodos clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

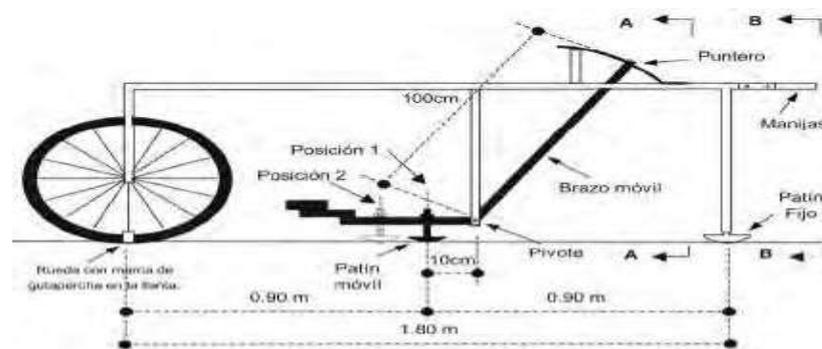
El método de medición que utiliza el Merlin, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el Merlin, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ) (Sayers M. , 1986). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

El Merlin es un equipo de diseño simple. La Figura 1.13 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cuál se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un

puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Figura II.13 Esquema del Rugosímetro de Merlin



Fuente: Caminero S.A., 2000

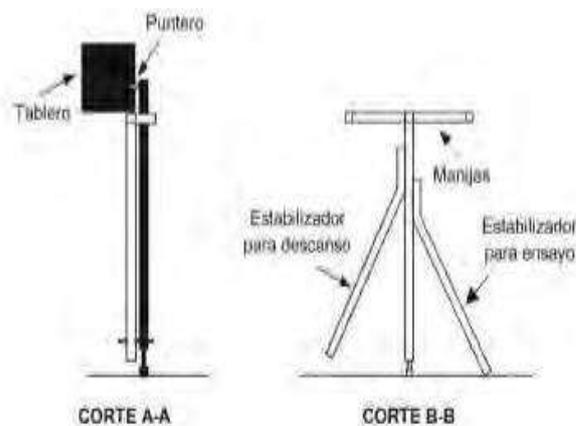
## A. Ejecución de ensayos

El manual Merliner, de la empresa Camineros SAC (Del Aguila Rodrigues, 2000) detalla que para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto

se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura II.15, corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50.

Figura II.14 Cortes A y B del rugosímetro de Merlin



Fuente: Caminero S.A., 2000

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas (Del Aguila Rodrigues, 2000). El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta

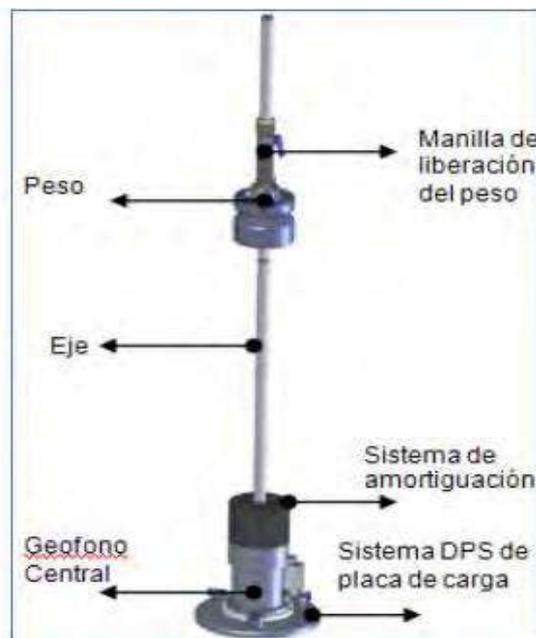
el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

### 2.4.3 Light Weight Deflectometer o LWD

El Light Weight Deflectometer (LWD), es un deflectómetro ligero de impacto, el cual tiene como objetivo determinar valores de CBR, ejecución de pruebas deflectométricas y ejecución de pruebas de transferencia de carga (Dynatest Chile S.A., 2010).

El LWD consta de un eje central por el cual se desplaza un peso variable entre 10 y 20 kilogramos (Kg) que se puede configurar a diferentes alturas de caída. El LWD contiene un sistema de amortiguación, una placa de carga que puede ser cambiada de 300mm a 150mm de diámetro, un geófono<sup>18</sup> que mide las deflexiones y una celda de carga que mide el esfuerzo real transmitido. Adicionalmente cuenta con dos geófonos a diferentes distancias con lo que es posible establecer el cuenco de deflexión a nivel de superficie (ver Figura 1.16).

Figura II.15 Equipo LWD



Fuente: Dynatest Chile S.A., 2010

La carga generada por la caída del peso (masa) se reduce en un sistema de amortiguación que transmite la carga de pulsos a través de una placa que está apoyada sobre la superficie del pavimento, determinando una superficie de deflexiones como resultado de la aplicación del impulso de carga.

Se miden las deflexiones en el centro de la carga aplicada, a 30 cm y 60 cm de la misma. La magnitud de la fuerza de impacto se determina a partir de las mediciones reales por la precisión de celdas de carga (Geófonos), midiendo el tiempo, la historia y el valor máximo de la fuerza de impacto con el peso de 20 kg y la altura máxima de caída.

Las condiciones mencionadas son para las cuales se obtienen la configuración de mayor peso produciendo hasta 15 kilo Newton (kN) de carga. El peso o masa se descarga generando un primer impacto y tomando los primeros datos deflectométricos y se repite el procedimiento hasta obtener tres medidas por punto de ensayo. El diámetro de la placa de carga se puede configurar para 300mm, 150mm, 200mm y 100mm, para el presente proyecto se establece una configuración de 300 mm.

El equipo está acompañado de una plataforma de cómputo del paquete de software LWD mod ofreciendo funciones avanzadas para la organización de datos, análisis y presentación de informes. La recolección de datos de software que residen en la pantalla de la PDA (Figura II.17) - muestra en tiempo real – el módulo de la superficie y el momento en la historia gráficamente de cada geófono, así como de la celda de carga.

Los datos recogidos son utilizados para volver a calcular la capa modular, calcular el espesor de superposición para asegurar que los diseños cumplan las especificaciones, analizar las deflexiones y presentar gráficamente los resultados derivados de los análisis.

Figura II.16 Equipo y Pad de mano



Fuente: Dynatest Chile S.A., 2010

Con los valores de esfuerzo y deformación, producto de la aplicación de la carga sobre la placa de 30 cm de diámetro y las deformaciones registradas por los dos geófonos adicionales (medidas obtenidas en campo), se obtiene el módulo del conjunto del paquete estructural del pavimento (módulo resiliente), (Dynatest Chile S.A., 2010):

#### **2.4.4 California Bearing Ratio o CBR**

El ensayo California Bearing Ratio o CBR (ASTM19 D 1883) mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, sub base y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles (MTC M. d., 2013).

El procedimiento comienza por establecer cuanto debe ser la compactación del suelo para que éste resista eficientemente, y esto se hace mediante el ensayo Proctor, que consiste, tal como lo menciona el manual de ensayo del MTC (MTC M. d., 2000), en medir la densidad del material tras humedecerlo y compactarlo: se humedece con 3 o 4

cantidades diferentes de agua, se compacta, y se mide su densidad. Ahora se dibuja una gráfica humedad-densidad uniendo los puntos obtenidos y se busca "visualmente" el máximo de la curva. Ese máximo corresponde a una cierta humedad (la óptima) y corresponde a una cierta densidad (la máxima).

Ahora se debe determinar, para esa densidad "máxima" (o un 98% de ella si no se puede ser muy optimista respecto de cuánto se conseguirá compactar -apisonar20- el terreno en la práctica), cuanto resistirá el terreno.

Para ello, según detalla el manual de ensayos (MTC E 132 – 2000), se toman tres cilindros rellenos de este material, y se compactan con un martillo especial, dándoles martillazos, pero a unos moldes más y otros menos, de forma que el que más se compacte consiga, aproximadamente la densidad máxima proctor.

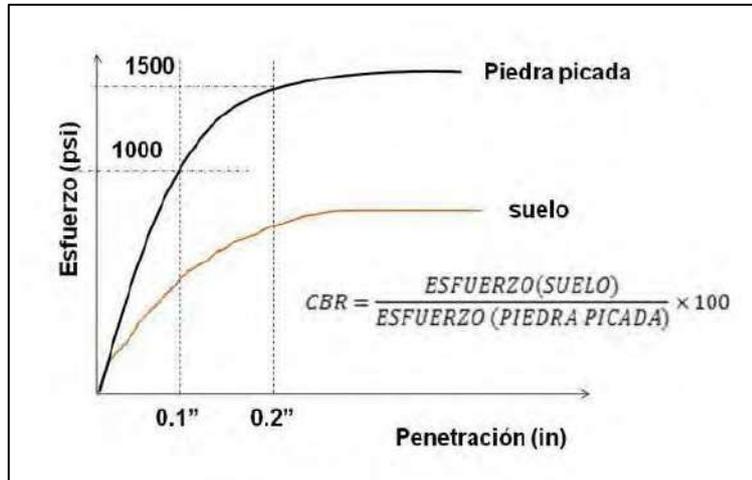
Ahora se "mide" el índice CBR de cada uno: Se va aplicando carga sobre el cilindro hasta alcanzar una compresión del terreno de unos 0.25 mm (0.1" en la norma ASTM), y se compara la carga obtenida con la que soportaría un terreno "ideal", que se fijó en su día en 1000 PSI (libras por pulgadas cuadradas) usando un "terreno ideal"(piedra picada) para carreteras de la zona de California (de aquí lo de CBR o "California Bearing Ratio", algo así como "porcentaje de aguante Californiano").

Esto da un porcentaje: si, por ejemplo, el terreno compactado con X golpes resiste 600 PSI (se ha necesitado aplicarle esa presión para que se hundiese 0.25 mm) y el terreno ideal resiste 1000 PSI, la muestra de terreno tiene un índice CBR del 60%.

Finalmente, se toma los 3 índices CBR obtenidos para los diferentes moldes (con diferentes compactaciones), se mide sus densidades, y se traza una gráfica densidad-índice CBR (Figura II.18). Como se sabe por el proctor cuál es la densidad que realmente se alcanzará en obra, solo resta determinar, para esa "densidad óptima", qué índice CBR da la gráfica.

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

Figura II.17 Curva Esfuerzo vs Penetración



Fuente: ASTM D-1883, 2007

En la tabla II.7 se muestra los criterios para evaluar la resistencia estructural de los terrenos al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad.

Tabla II.7 Evaluación de terrenos

CBR	CLASIFICACION
0 – 5	Terreno de fundación y subrasante muy mala
5 – 10	Terreno de fundación y subrasante mala a regular
10 – 20	Subrasante regular
20 – 30	Subrasante buena a muy buena
30 – 50	Sub base Buena
50 – 80	Base Buena
80 - 100	Base muy Buena

Fuente: MTC, 2013

### **2.4.5 Cono de densidades**

Ensayo cuyo objetivo es determinar la densidad seca y la humedad de un suelo compactado en el campo y verificar el grado de compactación del suelo en el campo (ASTM D 1556, 2007).

Este ensayo proporciona un medio para comparar las densidades secas en obras en construcción, con las obtenidas en el laboratorio. Para ello se tiene que la densidad seca obtenida en el campo se fija con base en una prueba de laboratorio.

Al comparar los valores de estas densidades, se obtiene un control de la compactación, conocido como Grado de Compactación, que se define como la relación en porcentaje, entre la densidad seca obtenida por el equipo en el campo y la densidad máxima correspondiente a la prueba de laboratorio (MTC E 117 – 2000).

#### **A. Equipo de densidad de campo:**

- Cono Metálico (diámetro 4 plg.).
- Arena Calibrada (Arena de Ottawa).
- Placa metálica hueca (diámetro del agujero 4 plg.).
- Balanza con una precisión de 0.10 lb.
- Pica, para extraer la arena del suelo en estudio.
- Bolsas plásticas, para echar la muestra extraída del suelo.

#### **B. Procedimiento:**

Según se detalla en el manual de ensayo de materiales (MTC M. d., 2000) antes de iniciar el ensayo, se debe calibrar el equipo de densidad de campo, para de esta forma obtener el peso volumétrico de la arena calibrada y el peso de arena calibrada que queda en el cono después de ejecutar el ensayo; datos que sirven en la determinación de la densidad de campo.

Seguidamente se nivela el suelo compactado en el campo y se retira el material suelto.

A continuación se coloca la placa y se comienza a hacer una perforación, teniendo como guía el agujero interior de la placa, a una profundidad de 10 a 12 cm.

Todo el material que se saque del agujero se coloca en una bolsa plástica y se pesa.

Para determinar el volumen del agujero, se utiliza el equipo de densidad de campo de la siguiente forma:

Se determina el peso inicial del frasco con la arena calibrada. Luego se invierte y se coloca sobre la placa, la cual está colocada en la parte superior del agujero; se abre la llave del cono, permitiendo el paso de la arena.

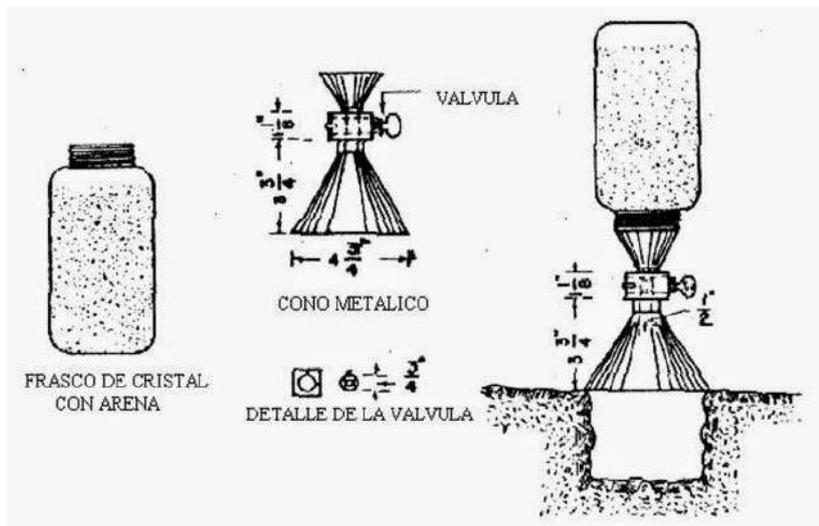
Cuando el agujero y el cono están llenos de arena, se cierra la llave y se procede a determinar el peso final del frasco y la arena contenida en él.

Por la diferencia de los pesos del frasco más la arena inicial y del frasco más la arena final, se obtiene el peso de la arena contenida en el agujero y el cono. A este valor se resta el peso de la arena que cabe en el cono, obteniendo de esta forma el peso de la arena contenida en el agujero.

El peso de la arena dividida por su densidad, obtenida en el laboratorio mediante la calibración, da el volumen del agujero.

Finalmente se debe determinar en el laboratorio, la densidad seca máxima y la humedad de la muestra recuperada del agujero, para de esta forma, determinar el Grado de Compactación.

Figura II.18 Equipo para la realización del ensayo.



Fuente: MTC, 2000

## **CAPÍTULO III**

### **3. PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Para la revisión de la situación inicial del corredor vial se tiene en cuenta la normatividad del manual de diseño geométrico de carreteras EG-2001 (MTC M. d., 2001), el manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC M. d., 2008) y el manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC M. d., 2008) y el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC M. d., 2013).

##### **3.1.1. Ubicación**

Se encuentra atravesando las localidades Puquio – Cora Cora, pertenecientes a la región Ayacucho. El tramo de ruta inicia en la localidad de Puquio km 0+000.

- Latitud: 14°22'39.446"S
- Longitud: 74°36'24.070"W
- Cota: 1201.9 m.s.n.m.

Y culmina el tramo en la progresiva 96+000 en la localidad de Cora cora con coordenadas geográficas:

- Latitud: 15°14'53.942"S
- Longitud: 73°27'18.77"W

- Cota 1973.1 m.s.n.m

### 3.1.2. Resumen de la situación actual

El tramo, tiene una longitud de 96.00 Km, se encuentra a nivel de afirmado, teniendo como punto de inicio la localidad de Puquio, y termina en la localidad de Coracora. La morfología es accidentada en la mayor parte del tramo, se observa que la superficie de rodadura presenta fallas tipo baches y erosiones, deformaciones de la plataforma ocasionadas principalmente por discurrir de las aguas de las lluvias y aguas superficiales, así como el paso vehicular y la deficiencia de sistemas de drenaje superficial y subterránea que dificultan la evacuación de las aguas Pluviales.

Figura III.1 Situación inicial en el corredor vial en estudio.



Fuente: elaboración propia

### 3.1.3. Análisis y revisión de los parámetros básicos:

#### 3.1.3.1. Orografía

La orografía actual oscila entre tipo 3 y tipo 4 ya que la inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre el 50% y 100% (EG 2001), y en algunos sectores la inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

#### 3.1.3.2. Clasificación de la Carretera de acuerdo a la demanda

Se realizó un estudio del tráfico procedente de las localidades de Puquio y Coracora. De esto se llegó a que la clasificación del

corredor vial que, según EG 2001, es de tipo carretera de 3RA. Clase, que soportan tráfico menores a 400 veh/día.

Tabla III.1 IMDa de carretera

1. Inicio	2. Fin	3.1
3.1 Puquio	3.1 Cora cora	3. 67

3.1.1.1.1. Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.3. Velocidad

La velocidad con la que se puede transitar en las condiciones actuales debido a su topografía y en el estado en que se encuentra el corredor vial es en un promedio de 20 km/h.

### 3.1.3.4. Ancho de Calzada

#### A. Ancho de Calzada del corredor vial

El ancho de la calzada es muy variable a lo largo del Corredor Vial, es difícil identificar carriles y bermas de anchos fijos, en el corredor vial se tiene un solo carril (usados por ambos sentidos de tránsito). El ancho promedio de la calzada por tramo es igual al ancho de la plataforma ya que no se tiene bermas en la calzada actual.

Tabla III.2 Ancho promedio de calzada existente

Inicio	Fin	Ancho Promedio (m)
Puquio	Cora cora	5.15

Fuente: Elaboración propia

Los anchos en la calzada del tramo son reducidos por factores como pérdida de plataforma, lo que ocasiona un peligro constante para los usuarios (vehículos).

## B. Bermas.

La plataforma del corredor vial en sus tramos no tiene ancho que permitan realizar bermas.

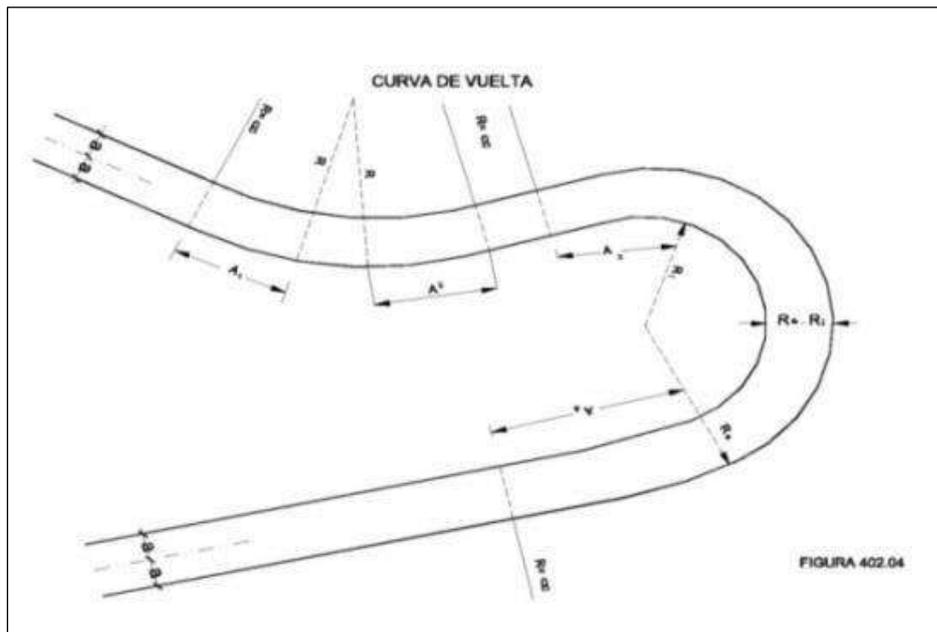
## C. Plazoletas

El corredor vial no tiene las plazoletas que permitan dar pase a los vehículos opuestos o adelantarse aquellos del mismo sentido.

## D. Radio mínimo en curva de volteo

El capítulo 402.09 del EG 2001, introduce el concepto de curvas de vuelta, y proporciona la Tabla III.3, con radio interior y exterior de la curva de volteo, como se observa en la Figura II.2:

Figura III.2 Radios de Curvas de Volteo. Nótese las curvas Espirales.



Fuente: Manual DG-2001

Tabla III.3 Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior

Radio interior Ri (m)	Radio Exterior Mínimo Re (m). según maniobra prevista		
	T2S2	C2	C2+C2
6.	14.00	15.75	17
7.	14.50	16.50	18
8.	15.25	17.25	19
10.	16.75 *	18.75	20
12.	18.25	20.50	22
15.	21.00 *	23.25	24
20.	26,00 *	28,00	29

**Fuente:** Manual DG-2001

La tabla considera un ancho de calzada en recta de 6m., en caso de que ella sea superior, Re deberá aumentarse consecuentemente hasta que  $Re - Ri =$  Ancho Normal Calzada.

Además el DG-2001, define las posibilidades para definir el radio interior, de acuerdo a lo siguiente:

El radio interior de 6 m, representa un mínimo absoluto y sólo podrá ser usado en caminos de muy poco tránsito, en forma excepcional.

El radio interior de 8 m, representa un mínimo normal en caminos de poco tránsito.

En carreteras de importancia se utilizarán radios interiores >15 m.”

Como es una carretera de bajo volumen de tránsito se usará un radio interior igual a 6 m, Se considera el radio interior según recomienda la Tabla III.3. El radio exterior es 14 m para un vehículo T2S2, por efectos de dotar de mayor seguridad a la curva de volteo el radio mínimo deberá utilizarse de 10 m. En las

curvas de volteo que se mencionan los que no cumplen el radio mínimo de volteo serán incrementados, por lo que se tendrá un volumen de desquinche.

### **E. Sobreanchos**

En el corredor vial las curvas horizontales no cuentan con los sobre anchos necesarios (como es de conocimiento, en las curvas el vehículo ocupa un mayor ancho que en los tramos rectos).

Para el cálculo de sobre anchos necesarios con parámetros establecidos se aplica la siguiente fórmula para el cálculo analítico (MTC M. d., 2001):

$$Sa = n \left( R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + V / 10 \sqrt{R}$$

Dónde:

Sa = Sobre ancho (m)

V = Velocidad (Kph)

R = Radio de Curva Circular (m)

n = Número de Carriles (m)

L = Distancia entre eje Posterior y parte Delantera (del vehículo tipo T2S2 adoptado) (m).

Téngase en cuenta que por tratarse de un solo carril el sobre ancho se divide entre 2.

### **F. Pendientes Máximas**

Se considerará los sugeridos en las normas DG – 2001 . Atendiendo a los parámetros adoptados en el proyecto la pendiente máxima no debe pasar del 12%. En curvas con radios menores a 50 debe evitarse pendientes en exceso a 8%, debido a que la pendiente en el lado interior de la curva se incrementa muy significativamente.

### **3.1.4.Suelos y pavimentos:**

#### **3.1.4.1. Resumen de la Situación Actual**

De la evaluación del suelo de fundación se encontró que predominan los suelos formados por arena arcillosa y arcillas inorgánicas, la clasificación predominante SUCS es SC y CL, y en AASHTO es A-2-6, con un índice de plasticidad promedio de 13%, la humedad natural que presentan los suelos se encuentra con un promedio de 16% y máximos de 51%, de los CBRs encontrados están en el rango de 5% y 30%, con un promedio de 16% al 95% de la MDS.

En el tramo, se ha encontrado material granular de cantera, conformado por materiales gravas arenosas mal gradadas con presencia de limos, la clasificación predominante SUCS es GP-GM, y en AASHTO es A-1-a, con un índice de plasticidad promedio de 4%, con CBRs promedio de 33% al 95% de la MDS. Los espesores de recarga existente encontrados varían entre 0 cm a 90 cm con un promedio de 18 cm. Luego de la evaluación del suelo de fundación y la recarga existente se realizó un perfil estratigráfico.

De la evaluación funcional del tramo se encontró que se encuentra con un IRI promedio de 14.84 m/km, el tramo está clasificado como: caminos no pavimentados rugosos, con desprendimiento de agregados y depresiones profundas, según las escalas del Banco Mundial. Por lo tanto se decidió realizar un perfilamiento simple con motoniveladora para disminuir el IRI hasta un valor de 8 m/km que faciliten los trabajos de estabilización.

#### **3.1.4.2. Estudio del Suelo de Fundación:**

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales del terreno de fundación se llevó a cabo la investigación mediante la ejecución de prospecciones en el suelo

(calicatas), de donde se obtuvieron muestras representativas, las que fueron trasladadas al laboratorio de suelos contratado donde fueron objeto de estudio. Se llevó el registro de los espesores de cada una de las capas del subsuelo, sus características de gradación, humedad, color, plasticidad, su estado de compacidad entre otros. Las muestras representativas fueron sometidas a los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E107
- Límite líquido MTC E 110
- Límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación para vías de transportes (AASHTO) ASTM D-3282
- Contenido de humedad MTC E 108
- Proctor Modificado MTC E 115
- California Bearing Ratio (CBR) MTC E 132

#### **3.1.4.3. Descripción de los materiales de fundación**

En el tramo, se ha considerado 3 sectores homogéneos obtenidos mediante la aplicación de los criterios de AASHTO'93 (Part III, Chapter 3 Guides for Field Data Collection). Se han efectuado en total 132 exploraciones mediante calicatas en la carretera ubicadas de forma alternada en ambas huellas de la vía, las muestras de los suelos de fundación de la carretera en estudio han sido ensayadas en laboratorio, obteniéndose sus propiedades mecánicas, el cual se resumen a continuación:

Sector 1 (km 0+000 – km 8+000): Predominan los suelos formados por arenas arcillosas y limos, con una plasticidad promedio de 15.0%, la clasificación predominante SUCS es SC y

CL, y en AASHTO es A-2-6, los CBRs encontrados están en el rango de 5.8% y 26.0%, con un promedio de 16.9% al 95% de la MDS, el índice de consistencia determina un suelo sólido, no obstante este es un estado variable con la humedad.

Sector 2 (km 9+000 – km 13+000): Predominan los suelos formados por gravas y arcillas con grava de tamaño máximo de 2", con una plasticidad promedio de 13.0%, la clasificación predominante SUCS es GC y SC, los CBRs encontrados están en el rango de 7.1% y 29.8%, con un promedio de 16.8% al 95% de la MDS, el índice de consistencia determina un suelo sólido; puntualmente se ha observado suelos de consistencia plástico blando y semi líquidos.

Sector 3 (km 14+000 – km 96+000): Predominan en este sector suelos formados por acillas inorgánicas, con una plasticidad promedio de 14.0%, la clasificación predominante SUCS es CL, los CBRs encontrados están en el rango

#### **3.1.4.4. Verificación de espesores de capa granular existente**

Este estudio se desarrolló con la finalidad de determinar las características físico- mecánicas del material de recarga existente en el tramo, es decir, el material que se ha venido depositando sobre el terreno de fundación a lo largo del tiempo por acción de los fenómenos atmosféricos.

La investigación se llevó a cabo mediante la ejecución de pozos exploratorios a "cielo abierto". De los resultados de las prospecciones, se ha observado en el campo y de acuerdo al perfil estratigráfico, que la plataforma del tramo, está conformada superficialmente por un material granular existente, gravas con arenas, con finos arcillo limosos. Las muestras representativas fueron sometidas a los siguientes ensayos:

Análisis granulométrico por tamizado MTC E107

- Límite líquido MTC E 110
- Límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111
- Clasificación SUCSASTMD-2487
- Clasificación para vías de transportes (AASHTO) ASTM-3282
- Contenido de humedad MTC E 108
- Proctor Modificado MTC E 115
- California Bearing Ratio (CBR) MTC E 132

Las características físicas mecánicas de la capa de recarga granular existente, que conforman la plataforma se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III.4 Resumen de resultados del análisis de la recarga existente

UBICACIÓN	Km.			PORCENTAJEQUEPASA													AASHTO	Clasificaci		Max. Dens. Seca	Opt. Hum.	Humedad Natural %	Índice de Consistencia				
				3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº100	Nº200		SUCS	0.1"						0.2"		
Km.00+000	0.43 m.	Derecho	23/11/12	100.0	100.0	85.0	82.8	69.0	59.0	46.1	37.0	21.4	16.8	11.3	8.5	7.2	N.P.	N.P.	A-1-a(0)	GP-GM	37.4	45.3	2.177	3.62	4.9	-	Sólido
Km.13+400	0.43 m.	Derecho	23/11/12	100.0	100.0	73.5	68.2	60.4	54.5	47.8	44.3	33.9	25.2	15.0	11.5	9.9	NP	N.P.	A-1-a(0)	GP-GM	25.8	28.7	2.045	3.18	6.6	-	Sólido
Km.27+400	0.28 m.	Izquierdo	11/12/12	74.3	68.4	67.2	55.6	46.0	39.3	32.4	28.6	20.9	16.9	9.4	6.5	5.2	N.P.	N.P.	A-1-a(0)	GP-GM	41.4	58.0	2.015	3.95	3.9	-	Sólido
Km.61+400	0.32 m.	Izquierdo	04/12/12	88.8	88.8	72.8	58.8	46.4	40.3	31.5	27.6	19.9	17.2	11.7	8.2	6.3	N.P.	N.P.	A-1-a(0)	GP-GM	34.3	48.9	1.824	13.75	3.4	-	Sólido
Km.96+000	0.36 m.	Derecho	04/12/12	86.1	86.1	75.4	65.8	56.4	48.3	38.0	31.8	19.0	15.9	13.4	12.2	11.3	17	3	A-1-a(0)	GP-GM	36.1	51.4	2.118	11.72	1.2	4.66	Sólido

Fuente: Elaboración propia

Tabla III.5 Espesores de recarga granular existente

Sector	Espesor De Afirmando Existente (Percentil 75%)
Km 0+000 al Km 13+000	15 cm

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4.5. Evaluación funcional:

Los trabajos para la evaluación de la funcionalidad del camino han consistido en la medición de la rugosidad del pavimento existente mediante el uso del equipo Bump Integrator (B.I.), rugosímetro tipo respuesta, que ha servido para la medición de la Rugosidad mediante la determinación directa del IRI.

Tabla III.6 Relación entre Merlin y Bump Integrator

ECUACION DE CALIBRACION - NIVELACION MERLIN vs BUMP INTEGRATOR														
Nº	SECTORES PARA		LONGITUD	RUGOSIDAD										
				Merlin (m/km)			Bump Integrator							
				L.D.	L.I.	Promedio	1°	2	3°	4°	5°	Prom	BI (mm/km)	
1	000+710	000+910	200	8.910	9.010		9446	7294	8645				8461.	
2	001+010	001+210	200	8.490	8.580	8.535	6828	6828	6823				6826.	6826.33
3	001+540	001+740	200	8.180	7.900	8.040	8460	8750	8432				8547.	8547.33
4	001+950	002+150	200	9.510			8967	9054	8642				8887.	
5	002+150	002+350	200	8.730	8.700	8.715	9809	9934	9945				9896.	9896.00
6	002+400	002+600	200	9.350	8.080	8.715	7524	7863	7384				7590.	7590.33

Fuente: Elaboración propia

Según estos resultados, la rugosidad (IRI) del tramo del proyecto está clasificados como: camino no pavimentado rugoso, con desprendimiento de agregados y depresiones profundas, según las escalas del banco mundial (MTC M. d., 2008)

Tabla III.7 Resultados de la Evaluación Funcional del Corredor vial

TRAMO	Puquio – Cora cora
N° de Pruebas	139
<b>Promedio</b>	<b>14.84 m/km</b>
Desv. Estan.	2.97

Max	16
Min	3.93
Coef. Var.	20%

**Fuente:** Elaboración propia

Debido a que este nivel de rugosidad convertía al tramo en un peligro constante para la población que transita frecuentemente el tramo y, además, no garantizaba la seguridad del personal y maquinaria que estaría encargado de realizar el trabajo de estabilización, se decidió realizar un perfilamiento simple con motoniveladora para disminuir el IRI a un valor por debajo de 8 m/Km correspondiente a caminos no pavimentados con mantenimiento. Luego de esto se procedería a estabilizar. El cuadro resumen con el nuevo IRI luego de perfilar se muestra a continuación:

Tabla III.8 Resultados de evaluación funcional luego de perfilar el tramo con motoniveladora

<b>TRAMO</b>	<b>Puquio – Cora cora</b>
N° de Pruebas	90
<b>Promedio</b>	<b>6.41 m/km</b>
Desv. Estan.	0. 39
Coef. Var.	6.15%
IRI característico	6. 76
IRI especificado	8

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.1.4.6. Evaluación Estructural**

Los trabajos de campo han consistido en la medición deflectométrica del pavimento mediante el uso del Deflectómetro (LWD), que se usa típicamente para la medición de la capacidad portante en capas de subrasante, subbase y base.

Para la medición se utilizó niveles de carga que proporciona deflexiones en el rango deseado, idealmente sobre los 300 micrones. Deflexiones muy pequeñas presenta

incertidumbre en la determinación de módulo, en tanto que deflexiones muy altas se deben evitar pues el rango de lectura del aparato es de 2200 micrones (2.2 mm). Para evitar exceder el rango se redujo el nivel de carga. El rango de carga aplicado varió a lo largo del proyecto entre 8.1kN y 15kN.

En general se realizaron 6 golpes de LWD en cada punto, y un punto de ensayo cada 200 m de avance. Las mediciones se llevaron a cabo cerca de la huella derecha del carril de circulación, Se realizaron un total cercano a los 2735 puntos de ensayo válidos. Todos los ensayos se realizaron con el plato de carga de 300 mm de diámetro.

### **3.1.4.7. Análisis estadístico**

Los estudios de deflexiones recuperables, han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal. Por lo tanto, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media ( $D$ ), la desviación estándar, y el coeficiente de variación ( $C_v$ ).

Para efectos de evaluación, diseños de refuerzos asfálticos se emplea el concepto de Deflexión Característica, que representa mejor a una sección de comportamiento Estructural Homogéneo; siguiendo el

criterio adoptado normalmente en análisis estadísticos, se puede establecer como Deflexión Característica el valor:

$$D_c = D + 1.645 \times \sigma$$

Evaluado en su condición Estructural Inicial, los resultados del corredor vial se dan a continuación:

Tabla III.9 Resultados de la Evaluación Estructural del Corredor vial en estudio.

Tramo	Puquio - Coracora (x10 <sup>-2</sup> mm)	Sectores Homogéneos					
		0+00	8+00	9+00	13+00	14+00	96+00
		0	0	0	0	0	0
Promedio	3	3		47		3	
Desviación	2	1		33		1	
Coeficiente de	6	5		71		5	
	6	5				8	
Deflexión	8	5		10		6	
Característica	0	9		2		0	

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5. Geología y Geotecnia.

Se realizaron estudios Geológicos, Geomorfológicos y Estructurales, tanto regional como local del área de estudio, para identificar los principales problemas geodinámicas y sus características, evaluando su magnitud y consecuencias sobre la vía.

Esta investigación se llevó a cabo mediante la excavación de calicatas, trincheras con la obtención de las muestras correspondientes y su análisis in situ y laboratorio.

### **3.1.5.1. Resumen de la Situación Actual**

El tramo está conformado por un alto porcentaje de rocas débiles de tipo sedimentario como son las areniscas, limolitas, lutitas (CGVN, 2010), e intrusivos meteorizados mayormente con cobertura de suelos residuales de grosores variables. Estas rocas en su gran mayoría muestran una exposición totalmente disturbada, en forma intercalada, su estratificación muy delgada que va desde menos de 1 cm hasta 40 cm en algunos casos de las rocas sedimentarias, de dureza media a blanda y presentan una meteorización alta.

Los eventos geodinámicos externos presentes en el tramo se encuentran conformados por: deslizamientos, derrumbes, desprendimientos de bloques, erosiones fluviales, erosiones de laderas y asentamientos en algunos sectores críticos, esto debido a las características climáticas, topográficas y litoestratigráficas que conforman la superficie del terreno y por la acción antrópica por lo que el agente desencadenante principal de estos procesos es el agua.

Para un mejor manejo y entendimiento de la información, se ha clasificado en dos tipos de estudios: Geología local y Geodinámica externa. Se presentan a continuación:

#### **A. Geología Local**

La geología del área ha sido definida teniendo en cuenta los diversos agentes erosivos, destacando entre ellos la acción erosiva de los ríos y quebradas.

La tectónica (levantamiento de los Andes) ha jugado un papel principal en la morfología actual de la zona, la composición de las rocas aflorantes ha dado lugar a la formación de los valles y quebradas en la zona de estudio.

La presencia de fallas de magnitud distrital ha originado la formación de zonas de debilidad por donde discurren los ríos y quebradas. La mayoría de los cerros de la zona de estudio, muestran los rasgos de fuerte erosión pluvial, posteriormente estos depósitos y las rocas que se alteraron y

fragmentaron se derrubieron cubriendo las laderas de las quebradas hasta la actualidad.

La morfología que se presenta en la zona de estudio destacan la cadena de cerros y colinas del flanco de la Cordillera Occidental, correspondientes a las montañas de cerros más elevadas, compuesta por cerros que están por encima de los 1,500 m.s.n.m. presentan, en general, relieves de moderada a fuerte pendiente hacia las quebradas subsidiarias.

### **B. Geodinámica externa geotecnia y sectores críticos.**

El área del tramo en estudio no es ajena a los procesos geodinámicos naturales, los cuales vienen ocasionando daño a la infraestructura vial, de riego, viviendas, servicios básicas etc., de ahí que se ha visto necesario conocer sus características, los factores que los condicionan y su magnitud, para poder describirlos, analizarlos y tomar acciones para detener o mitigar estos procesos.

Los procesos geodinámicos que ocurren en esta área son:

Erosión de ladera y formación de cárcavas

Desprendimientos de bloques

Deslizamientos

Asentamientos

Derrumbes

Erosión fluvial

## **IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA PROES A UN CAMINO.**

### **3.1.6. Sustento del coeficiente estructural**

#### **3.1.6.1. Sustento del coeficiente estructural de la capa estabilizada con tecnología PROES**

El coeficiente estructural (SN) (AASHTO, 1993) representa el aporte resistente de cada una de las capas de la estructura del pavimento. En el tramo, por los alcances del proyecto en sí y para asegurar un adecuado nivel de servicio, se considera como único requisito estructural que la capa superior del pavimento tenga un coeficiente estructural equivalente a una estructura con SN 0.87, este es un valor abstracto que representa la resistencia total requerida para la capa superior de la estructura del pavimento para un periodo de diseño de 5 años.

Para la definición del coeficiente estructural de la capa de estabilizada con tecnología PROES, se realizaron una serie de muestreos y ensayos utilizando según estudio de dosificación el aditivo líquido PROES más un aditivo sólido como aglomerante por equilibrio de carga eléctrica entre este aditivo y la parte fina del material, con el material granular existente y de canteras de préstamo lateral, cuyos resultados fueron relacionados con los criterios y ábacos del Método AASHTO (1993).

Dentro de la bibliografía revisada se encuentra una tabla, donde se define un valor de coeficiente estructural para un material similar al utilizado en el presente trabajo. El libro “Los Pavimentos en las Vías Terrestres Calles, Carreteras y Aeropuertos” (Céspedes Abanto, 2002) en la pág. 143, nos presenta la tabla 6.19, donde se indican los coeficientes de resistencia relativa de las diferentes capas de un pavimento flexible (para espesores en pulgadas), los mismos que han sido determinados en base a los resultados de la Carretera Experimental AASHTO:

Base Tratada con Cemento (No un suelo-cemento)      0.23

Base Tratada con Asfalto 0.25 – 0.30

Tabla III.10 Coeficientes de resistencia relativa de las diferentes capas de un pavimento flexible

Componentes de un pavimento	Coeficientes		
	a1	a2	a
<b>Capa de rodamiento</b>			
Mezcla in situ (estabilidad baja)	0.20		
Mezcla en planta (estabilización alta)	0.44		
Arena asfalto	0.40		
<b>Capa de base</b>			
Grava Arenosa		0.07	
Piedra Picada		0.14	
<b>Base tratada con cemento (no es suelo cemento)</b>			
650 lb/pulg <sup>2</sup> , o mas		0.23	
400 a 650		0.20	
400 o menos		0.15	
<b>Base tratada con material bituminoso:</b>			
De gradación gruesa		0.30	
Arena asfalto		0.25	
Base tratada con Cal		0.15-0.30	
<b>Sub Base</b>			
Grava arenosa			0
Arena o arcilla arenosa			0.05-0.10

Fuente: Céspedes Abanto (2002).

El aporte resistente de la capa estabilizada con tecnología PROES, es validado por sus bondades mediante las pruebas, cuyo propósito al incluirse el aditivo sólido (función aglomerante por equilibrio de cargas eléctricas) y el aditivo líquido (función de ionizador que produce la reacción química de la parte fina del material a estabilizar), fue el de incrementar la resistencia del material aceptable como el principal criterio de diseño, además de impermeabilizar y dejar con comportamiento flexible la base estabilizada, incremento verificado para la capa estabilizada con PROES especialmente a través del CBR, para cada una de las muestras ensayadas, que garantizarán la durabilidad deseada y un buen comportamiento.

### 3.1.6.2. Valor de la relación de soporte CBR

Los resultados de las propiedades físicas de la estabilización de suelos de cantera, se ha de obtener en las condiciones más adversas, para la obtención del valor de la Relación de Soporte Relativo (CBR), se ha curado por 7 días al aire y 4 días sumergidos al agua, con el CBR de diseño se obtiene el módulo de la capa, utilizando la correlación obtenida del Appendix CC-1 "Correlation of CBR values with soil index properties", se adoptó un espesor mínimo de 11 cm sugerido por las especificaciones técnicas de estabilizar con PROES y se calculó el espesor que se adoptara

Tabla III.11 Espesor adoptado para un SN de 0.87

SN requerido	Coefficiente Estructural	Espesor Mínimo	Espesor Adoptado
0.87	0.079/cm	11.0 cm	11.0 cm

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.6.3. Estabilización de suelos de cantera con tecnología proes:

Se efectuó la ubicación de fuentes de materiales dentro del tramo y en zonas adyacentes, cuyas características principales fueran el tener los volúmenes de materiales necesarios, pero principalmente con propiedades geotécnicas adecuadas para las actividades a efectuar. La calidad de los materiales para los diversos usos, han sido estudiados mediante el empleo de los siguientes ensayos estándar.

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 204
- Límite líquido MTC E 110
- Límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación AASHTO ASTM D-328

- Proctor modificado MTC E 115
- California Bearing Ratio (CBR) MTC E 132
- Abrasión MTC E 207

A continuación se describe la cantera considerada (cantera Km 28+500), y Las características de los materiales de cantera utilizados para la realización de las pruebas de estabilización son las siguientes:

Tabla III.12 Gradación Canteras para Estabilización

Tamiz	% Pasa	
	Cantera km 28+500	Cantera km 138+000
2"	100.0	100.0
3/4"	86.9	81.9
3/8"	74.4	65.1
N° 4	59.6	49.6
N° 10	49.5	40.1
N° 40	32.5	23.4
N° 200	19.9	12.0

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla III.13. Características Físico Mecánicas Canteras Estabilizadas

Descripción	Características	
	Cantera 28+500	Cantera 138+000
Límite Líquido	40.49 %	34.82%
Límite Plástico	24.8 %	33.53 %
Índice Plástico	15.2 %	1.3%
Abrasión	43.4 %	38.4%
Máxima Densidad Seca	1.626 g/cm <sup>3</sup>	1.839g/cm <sup>3</sup>
Óptimo Contenido de Humedad	18.0%	11.8 %

Descripción	Características	
	Cantera 28+500	Cantera 138+000
CBR a 0.1" al 95%	55.6 %	133.4 %
Cemento	50 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>
Proes	0.30 l/m <sup>3</sup>	0.30 l/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.7. Diseño estructural del pavimento

El diseño del pavimento de la carretera a nivel de solución de ingeniería, se efectuó con los resultados idóneos obtenidos en los ensayos de laboratorio y en tramos de prueba, los que se convirtieron en el sustento técnico para la estructura que se está definiendo como mejor alternativa. Para efectos del diseño se han analizado por: "Metodología del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito" (MTC M. d., 2008).

#### 3.1.7.1. Diseño metodología para la construcción de carreteras

Conforme a lo establecido en el Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, el espesor del material granular a colocar sobre determinada subrasante está en función del CBR de subrasante y el número de ejes equivalentes de 8.2 tn.

La solución adoptada, cumple con las exigencias del Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Tránsito, y además, por ajustarse a las solicitudes dadas en esta carretera, se ha aplicado la metodología planteada por la National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA) para un período de 05 años. Este tramo se ha dividido en sectores homogéneos, en el cálculo del espesor granular en cada sector, el paquete estructural resultante está conformado por las capas de: subrasante o suelo de fundación, afirmado existente y la recarga de material granular, éstas dos últimas constituyen una capa de material existente de los cuales los 110 mm superiores son estabilizados con Tecnología PROES.

### 3.1.7.2. Tráfico para NAASRA

Dentro de la metodología para el Estudio de la Demanda del Tránsito, las cargas y el volumen de tráfico juegan un papel importante en el diseño estructural del pavimento, por lo que se ha establecido datos realistas para este caso específico. Se ha realizado el conteo vehicular, cuyos resultados arrojan EE (ejes equivalentes), como se muestra a continuación:

Tabla III.14 Ejes Equivalentes del tramo Puquio – Coracora medidos desde la progresiva 0+400 hasta la progresiva 13+000.

Tramo	Periodo de diseño	ESAL
Puquio – Cora cora	5 años	$2.28 \times 10^5$

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.7.3. De la normativa:

El “Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, clasifica el tipo de vía de acuerdo al volumen de tránsito, identificándose en la clase de carreteras:

Tabla III.15 Clasificación según volumen de tránsito para carreteras en la red nacional.

CLASE	T	T1	T2	T3	T4
IMD (Total de vehículos ambos sentidos)	<	16 - 50	51 - 100	101 - 200	201 - 400
Vehículos Pesados (Carril)	< 6	16 - 15	16 - 28	29 - 56	57 - 112
N° Rep. EE (carril de diseño)	$< 2.5 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4$ $-1.5 \times 10^4$	$7.9 \times 10^5$ - $1.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5$ - $3.1 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5$ - $6.1 \times 10^5$

Fuente: MTC, 2008

De la clasificación, se determina que los volúmenes de Ejes Equivalentes (EE) que soportará el afirmado, están dentro del rango:

$$EE = 1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$$

Por lo tanto el tráfico se clasifica en clase T3.

#### **3.1.7.4. Diseño de espesor de pavimento – método NAASRA**

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de ESAL.

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Dónde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm

CBR = Valor del CBR de la subrasante

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de Diseño.

SN = Número Estructural.

### **3.1.8. Estructura de pavimento.**

#### **3.1.8.1. Consideraciones para la estructuración del pavimento – tecnología PROES**

Con la finalidad de definir una estructura de pavimento con un nivel de serviciabilidad adecuado para el tramo, se presentan a continuación las siguientes consideraciones técnicas tomadas en cuenta para la estructuración del pavimento estabilizado con la tecnología PROES.

## **A. Superficie de rodado**

Con el objetivo de conseguir una superficie de rodadura que brinde una aceptable serviciabilidad al usuario, se ha definido la colocación de un mortero asfáltico (Slurry Seal) modificado con polímero ( $e = 10$  mm), que será colocado sobre la capa de material estabilizado. Para efectos de diseño el coeficiente de capa se considera nulo, siendo su aporte más relevante en la condición funcional del pavimento a construir.

## **B. Base Estabilizada**

Se han estudiado los materiales a emplearse para establecer su idoneidad en los trabajos de mantenimiento periódico, para lo cual se han ubicado a lo largo del tramo varias canteras como fuente de material, no obstante la capa en su conjunto que ser constituida con aporte de afirmado existente y/o recarga, seguidamente se ha realizado diseños de mezcla suelo – aditivo con la tecnología PROES, obteniendo valores de CBR mayores o iguales a 116% al 95% de la MDS y 0.1” de penetración, en consecuencia el coeficiente de aporte estructural para esta capa es de 0.20 para espesores de capa en pulgadas o su equivalente 0.079 para espesores en centímetros.

## **C. Material granular existente**

De acuerdo al estudio del material granular existente, se verificó que hay presencia de espesores con valor de soporte CBR considerable para el aporte estructural, de acuerdo al MTC (MTC M. d., 2008) se indica:

“En caso de que el tramo tenga ya una capa de afirmado, se aprovechará el aporte estructural de la capa existente. Sólo se colocará el espesor de afirmado necesario para completar el espesor total obtenido según la metodología de diseño empleada.” La estructura del pavimento estabilizado con la tecnología PROES ha sido definida de acuerdo a la siguiente figura.

Figura III.3 Estructura del pavimento estabilizado con la tecnología PROES para el presente estudio.



Fuente: PROESTECH, 2011

Para garantizar una adecuada relación modular<sup>1</sup>, paralelamente se verifica que la capa subyacente de material granular tenga un espesor mínimo en función al tipo de fundación:

Tabla III.16 Espesor mínimo según el tipo de suelo de fundación sugerido por el MTC para la estabilización en carreteras de bajo volumen de tránsito.

Tipo de Fundación	e capa subyacente
Muy buena (CBR $\geq$ 20%)	5.0 cm
Regular (CBR 11-19%)	7.0 cm
Mala (CBR $\leq$ 10%)	10.0 cm

Fuente: MTC, 2008

### 3.1.9. Secciones de diseño.

Las secciones de diseño adoptadas, cumplen con las exigencias del MTC (MTC M. d., 2008) y la “metodología NAASRA”, para un período de 05 años, y además cumplen con los alcances del proyecto, donde

señala: que el número estructural (SN) de capa superior estabilizada no será menor de 0.87.

### **3.1.10. Proceso constructivo de bases estabilizadas con aditivo PROES**

#### **3.1.10.1. Descripción general del proceso**

Este procedimiento se refiere a la construcción de bases tratadas químicamente con tecnología PROES., ubicadas sobre la sub rasante o base estabilizada perteneciente al paquete estructural del pavimento. Ya que, en nuestra carretera, el soporte estructural estará dado por la base, se requiere un recubrimiento que funcione como una protección asfáltica que reduzca el desgaste por rozamiento y clima, que no aporta capacidad portante. Esta protección se realizará con slurry seal.

#### **3.1.10.2. Base estabilizada.**

##### **A. Equipamiento mínimo para la construcción:**

Los equipos mínimos requeridos son los siguientes:

- Motoniveladora (escarificado y acordonado, pre-mezclado suelo con aditivo sólido, mezclado de suelo con aditivo sólido y aditivo líquido, perfilado final).
- Camiones cisterna o aljibe (aplicación aditivo líquido y humectación de la base). Cantidad de camiones depende de distancia de transporte y volumen de agua.
- Rodillo Liso Vibratorio y/o Rodillo Pata de Cabra (compactación).

Los Rendimientos promedios están en el rango de 300-400 m<sup>3</sup> por jornada de 8 horas (PROESTECH, 2011).

- Opcionalmente, se puede utilizar:
- Camión esparcidor de aditivo sólido (esparcir aditivo sólido).

- Recicladora o Pullver-Mixer con Camión Cisterna (aplicación aditivo líquido y mezclado de los aditivos sólido y líquido con el material).
- Motoniveladora (apoyo a Recicladora y perfilado)
- Rodillos Lisos Vibratorios y/o Rodillo Pata de Cabra (compactación según plasticidad y espesor del material a estabilizar).

Los rendimientos promedios están en el rango de 700-1.200 m<sup>3</sup> por jornada de 8 horas (PROESTECH, 2011).

### **B. Preparación de la subrasante**

Esta instancia quedará definida en el proyecto mismo. La generalidad es que con motoniveladora se escarifique y/o rutee la superficie original de camino y que será aprovechada para la base. Este material se acordona y se procede a compactar la subrasante.

Antes de colocar el material de base y después de haber dado término al movimiento de tierras, la subrasante debe ser perfilada a las cotas y pendientes indicadas en los planos del proyecto (Figura III.4).

Figura III.4 Preparación de la Sub Rasante



Fuente: elaboración propia

La sobre excavación en que se incurra se absorberá con el material natural extraído de la excavación o con el material de base. Posteriormente se procederá a compactar el sello, según lo establezca el proyecto. Después de perfilada y compactada la sub rasante, debe controlarse el cumplimiento

de las cotas en todos los puntos y deberá agregarse o quitarse el material que sea necesario para llevar la rasante a los niveles especificados en el plano de proyecto.

### **C. Aplicación de aditivos y mezclado.**

Terminada la preparación de la sub rasante, se realiza la estabilización química del suelo. Con el equipo adecuado, como Motoniveladora, camión Esparcidor y/o pullver Mixer y camión cisterna, se procede a adicionar a un volumen establecido de material el aditivo sólido (Figura III.5), que puede ser suministrado en bolsas o a granel, en la dosis especificada y se mezcla el suelo (con humedad natural) con el aditivo sólido y se extiende (Figura 3.4). Esta adición del aditivo sólido se puede realizar antes, siendo independiente de la adición del aditivo líquido diluido en el agua de amasado.

Figura III.5 Esparcido de cemento



Fuente: elaboración propia

Figura III.6 Mezcla con el material



Fuente: elaboración propia

Posteriormente a la adición del aditivo sólido, en un camión cisterna, se diluye el aditivo líquido PROES en un volumen máximo determinado por el diferencial entre la humedad óptima y la humedad natural del suelo (se debe contar con equipo para medir humedad natural del material, ya sea con Densímetro Nuclear o Speedy), más el agua estimada por pérdidas por evaporación en la manipulación y tiempo de trabajo. El riego del suelo (Figura III.7), su revoltura y extensión con motoniveladora se realizan

Figura III.7 Adición aditivo líquido



Fuente: elaboración propia

Simultáneamente. Es recomendable en caso de condiciones climáticas inestable, diluir el aditivo líquido en menos cantidad de agua, para asegurar el 100% de aplicación del aditivo líquido. Si falta agua, se adiciona después. El mezclado de los aditivos debe ser homogéneo en toda la superficie, respetando el espesor de diseño y ejecutado en un tiempo tal, que permita lograr la compactación, para la cual se dispone de 5.0 a 8,0 horas desde la adición del aditivo líquido PROES, dadas por la reacción de endurecimiento de la mezcla.

#### **D. Compactación**

El equipo adecuado para la compactación es el rodillo liso vibratorio (Figura 3.7) o rodillo pata de cabra (estática o dinámica).

Figura III.8. Compactación de la base con rodillo lizo



a) Inicio de compactacion con rodillo lizo    b) Acabado final con rodillo lizo

La cantidad de equipo será dada por el rendimiento del ítem anterior y el rendimiento de los equipos de compactación. No se compactará espesores sueltos superiores a 25 cm, siendo necesario hacer bases compactadas por capas cuando el espesor de diseño (compacto) sea superior.

Hay que evitar la sobre compactación que se puede dar fácilmente cuando los espesores son reducidos (menor a 15 cm), ya que se fisura la base durante este proceso. Es conveniente hacer al comienzo de la estabilización de una base, una comprobación de la compactación, realizando pasadas de rodillo con frecuencia baja o alta, y se revisa la compactación, de tal manera que se verifique a las cuantas pasadas, ya no sube más la densidad seca. La compactación deberá ser igual o superior al 95% de la M.D.S.

## **E. Cuidado de la estabilización**

Durante los cuatro días siguientes a la estabilización se debe cuidar que el suelo tratado no varíe su humedad (es decir que la base se conserve húmeda), de tal forma que si se produce evaporación superficial del agua, deberá regarse. En caso que la temperatura sea menor a 8 °C, la reacción es más lenta y mientras dure esta condición de temperatura baja, la reacción entra en estado de latencia (se suspende), hasta que la temperatura sea superior a los 8°C.

Una opción de control de la evaporación es colocar un riego de liga con emulsión lenta diluida en agua, lo que puede realizarse 24 horas después de haber terminado las faenas de estabilización. No es necesario esperar los cuatro días para hacer la imprimación. En caso que se tenga un aumento de la humedad superficial por lluvia, derrame de otras aguas, o inundaciones, deberá suprimirse el tránsito hasta que esta condición cambie o se cumplan los 4 días de curado.

La presencia de fisuras se debe a que las especificaciones de curado no se han cumplido, y hay que verificar la profundidad de estas fisuras, para definir que se resuelve hacer. Sí las fisuras son superficiales, se puede aplicar el sello asfáltico superficial, o sino de debe rehacer la base.

### **3.1.10.3. Recubrimiento con Slurry Seal**

El Slurry Seal es un mortero asfáltico compuesto por una mezcla de una emulsión asfáltica aprobada, agregado mineral o agregado pétreo, agua, y ciertos aditivos especificados, debidamente dosificados, mezclados y uniformemente aplicado sobre la base estabilizada. El mortero asfáltico terminado deberá dejar una textura y superficie homogénea, adherido firmemente a la superficie previamente preparada, y tener una superficie resistente a deslizamientos durante su tiempo de vida útil. A continuación nos encargaremos de señalar todo lo necesario para la colocación del recubrimiento:

#### **3.1.10.4. Equipamiento mínimo para la construcción:**

El equipo debe incluir elementos para la explotación y elaboración de agregados pétreos; una mezcladora móvil para la fabricación y extensión del mortero; elementos para la limpieza de la superficie, elementos para el humedecimiento de la superficie y herramientas menores para correcciones localizadas durante la extensión del mortero.

La mezcladora móvil debe ser de preferencia de tipo continuo, dotada de las tolvas, tanques y dispositivos necesarios, sincronizados para dosificar los agregados, el llenante, el agua, la emulsión y los aditivos que requiera el mortero; debe tener, además, un mezclador y una capa repartidora provista de dispositivos para evitar pérdidas laterales y de una maestra regulable de caucho que permita el correcto reparto, extensión y buena terminación del mortero.

#### **3.1.10.5. Preparación de la superficie existente**

Antes de proceder a la aplicación del mortero asfáltico, la superficie que la recibirá se limpia de polvo, barro seco o cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, utilizando barredoras mecánicas o máquinas sopladoras. Sólo es permitido el uso de escobas manuales en lugares inaccesibles a los equipos mecánicos.

Si la superficie sobre la cual es aplicada el mortero, corresponde a un pavimento asfáltico, se debe eliminar mediante fresado todos los excesos de ligante que puedan existir y se reparar los desperfectos que puedan impedir una correcta adherencia del mortero asfáltico.

#### **3.1.10.6. Elaboración y aplicación del mortero asfáltico**

Una vez preparada y antes de iniciar la extensión del mortero, la superficie por tratar, de ser el caso, debe ser humedecida con agua

de manera uniforme, teniendo en cuenta el estado de la superficie y las condiciones climatológicas existentes.

El mortero preparado en el cajón mezclador de la máquina, pasa a través de una compuerta vertedero a la caja repartidora, la cual se encarga de distribuirla de manera uniforme sobre la superficie. El avance del equipo se realiza paralelamente al eje de la carretera y su velocidad se ajusta para garantizar una aplicación correcta del mortero y una superficie uniforme. No se permite la elaboración y aplicación del mortero si la temperatura ambiental es inferior a 6°C o durante precipitaciones pluviales.

La aplicación de los morteros asfálticos alcanza espesores en el rango de 3 a 10 mm para el caso de una sola capa, y cuando se trata de mayores espesores se aplica por capas sucesivas, rotura previa de la capa precedente. Cuando se especifique compactación, esta debe efectuarse con rodillo neumático autopropulsado, iniciándose solo cuando la rotura del mortero permita el paso de los rodillos sin que se adhiera a las ruedas.

#### **3.1.10.7. Juntas de trabajo**

Las juntas de trabajo longitudinales no pueden presentar traslapes, ni áreas sin cubrir y las acumulaciones que se produzcan se alisan manualmente antes de la rotura de la emulsión. Los traslapes de las juntas transversales se alisan igualmente, antes de la rotura de la emulsión, de modo que no se presenten cambios en la uniformidad de la superficie.

#### **3.1.10.8. Apertura al tránsito**

Debe impedirse la circulación de todo tipo de tránsito sobre las capas que no hayan curado completamente. El tiempo requerido para dicho curado depende del tipo de emulsión, las características de la mezcla y las condiciones climáticas.

### **3.1.10.9. Control de calidad**

Para efectos del control se considera como lote, el mortero extendido en cada jornada de trabajo, del cual se extrae un mínimo de 5 muestras de la mezcla en la descarga de la máquina, de un peso aproximado de 2 kg cada una, las cuales emplea en la determinación del contenido de asfalto (MTC E 502) y la granulometría de los agregados (MTC E 503).

#### **A. Contenido de Asfalto**

El contenido medio de asfalto residual del tramo construido en la jornada (ART%) no debe diferir del contenido de asfalto establecido en el diseño en más/menos el 0,5%. A su vez, sólo se admite un valor de contenido de asfalto residual de muestra individual que se aparte en más del 1,0% del valor medio del tramo. Si alguno de estos requisitos se incumple, se rechazará el tramo construido durante la jornada de trabajo.

#### **B. Granulometría de los agregados**

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determina la composición granulométrica de los agregados. Para cada ensayo individual, la curva granulométrica debe encajar dentro de la franja adoptada.

#### **C. Resistencia**

Por cada jornada de trabajo, se extraen tres muestras de la mezcla en la descarga de la máquina, con las cuales se elaboran especímenes para los ensayos de abrasión en pista húmeda (MTC E 417) y absorción de arena en la máquina de rueda cargada.

Si el desgaste medio o la absorción media de arena, superan los valores definidos en el diseño y en más del 10%, se rechaza el tramo construido durante la jornada de trabajo.

#### **D. Calidad del trabajo terminado**

El pavimento terminado debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde del pavimento tratado con mortero asfáltico no podrá ser, en ningún punto, inferior a la señalada en los planos.

## CAPÍTULO IV

### 4 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizados los estudios previos descritos en los capítulos anteriores, y determinado el diseño de la base, se procede a estabilizar el tramo. Acto seguido se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad portante (CBR), rugosidad de la superficie de rodadura (IRI).

#### 4.1 Verificación de la compactación

Como se mencionó en el capítulo segundo para que la estabilización con aditivo PROES sea exitosa se debe verificar que la compactación en la base debe ser al menos 95% de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo Proctor, por lo tanto, se procedió a evaluar el estado del tramo, luego de estabilizar, mediante el ensayo del cono de densidades, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla IV.1:

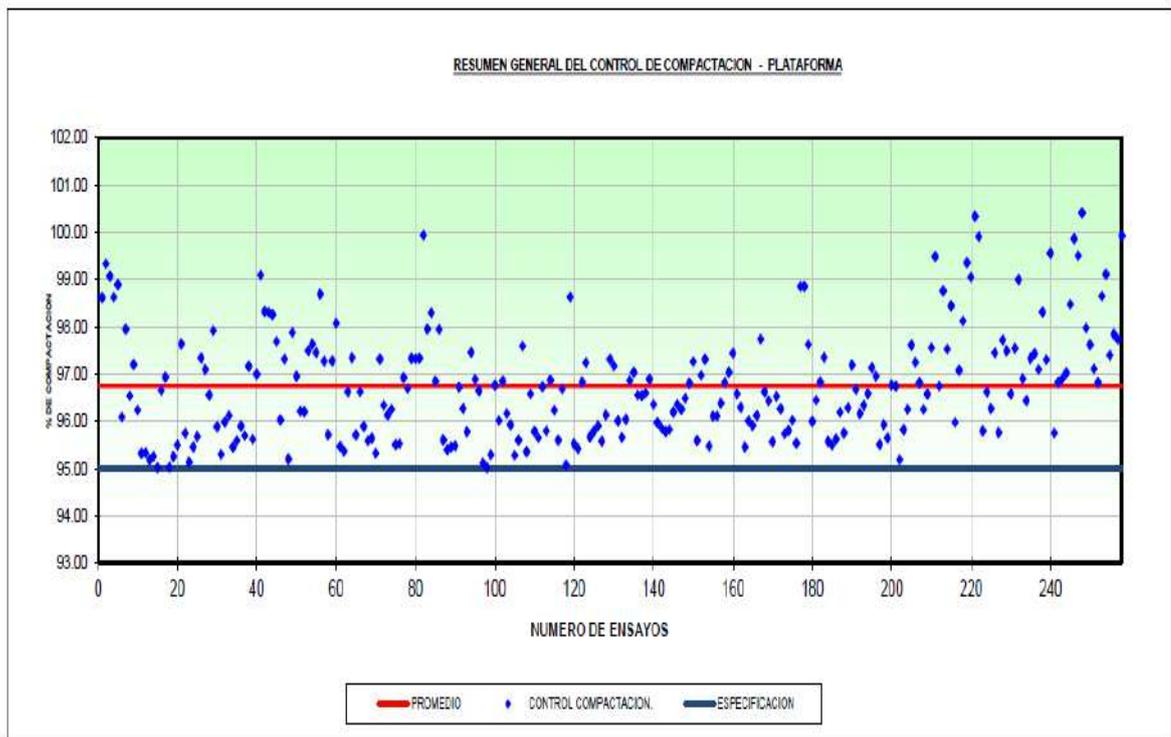
Tabla IV.1 Resumen de compactación en el tramo en estudio.

Descripción	Proctor		Datos de Campo			Compactación %	Compactación Mínima %
	M.D.S. gr/cm <sup>3</sup>	O.C.H. %	Dens. Hum. gr/cm <sup>3</sup>	Humedad %	Dens. Seca gr/cm <sup>3</sup>		
Promedio	1.91	13.65	2.09	13.17	1.85	96.75	95
MAX	2.98	19.46	3.07	19.20	2.90	100.00	
Desviación Estándar	0.19	3.32	0.17	3.25	0.19	1.16	

Fuente: Elaboración Propia

Además, se presenta la Figura IV.1 el resumen del control de compactación, donde se aprecia que ningún punto está por debajo del 95% de compactación, por lo tanto el tramo cumple con las especificaciones técnicas del aditivo Proes.

Figura IV.1 Resumen general de la compactación medida en el tramo en estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Por los datos presentados se puede decir que en todo el tramo se encuentra una compactación de 95% o más de su máxima densidad seca.

## 4.2 Capacidad portante:

Para la evaluación de la capacidad portante de la base se realizaron ensayos extrayendo muestras in situ del material de recarga mezclado con aditivo sólido y aditivo líquido mientras se llevaba a cabo el proceso constructivo. Estas muestras fueron ensayadas en laboratorio para obtener su CBR. Los resultados se muestran en la Tabla IV.2.

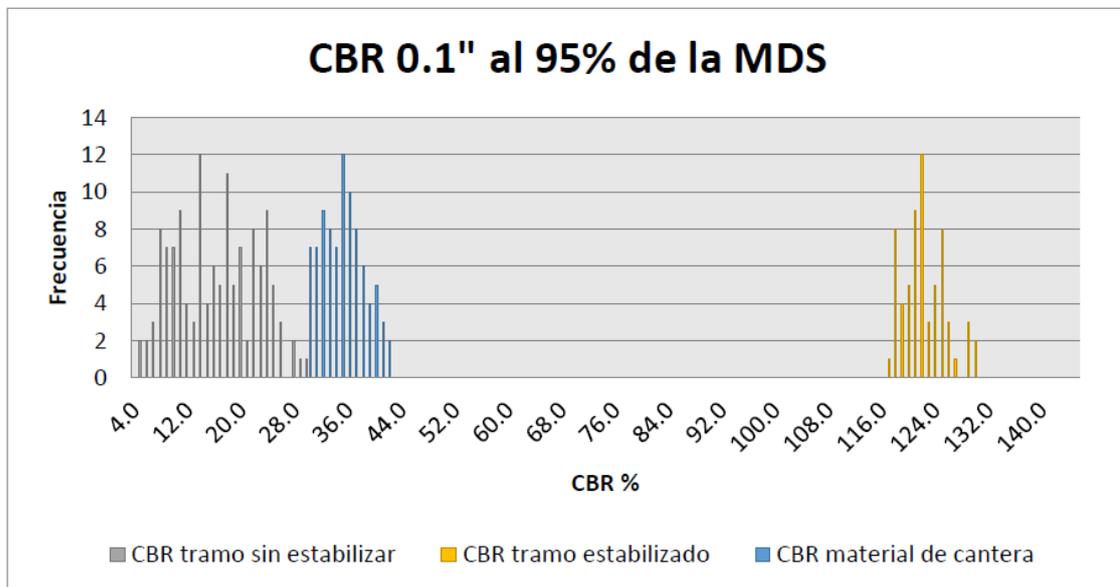
Tabla IV.2 Resumen de Resultados CBR al 95% de la MDS

<b>Parámetros</b>	<b>CBR 95%</b>	
	<b>0.1"</b>	<b>0.2"</b>
Numero de ensayos	53.0	53.0
Promedio	121.7	148.8
Min	116.4	142.2
Max	129.9	161.3
Desv. Estándar	3.6	4.1
Varianza	13.2	16.7

Fuente: Elaboración Propia

Para poder visualizar que tanto se ha visto mejorado la capacidad portante se presenta el histograma de frecuencias antes y después de la estabilización en el tramo y la cantera en la figura IV.2.

Figura IV.2 Valores de CBR antes y después de estabilizar en el tramo en estudio.



Fuente: Elaboración Propia

De la Figura IV.2 se aprecia cómo la dispersión de los datos se ha visto disminuida (ancho de los histogramas) y como las medias del valor de CBR han aumentado (aumenta de 15.9% en el terreno de fundación, 40% en material de cantera hasta un 121.7% final en el tramo). Respecto a la dispersión, se puede decir que estos resultados aseguran que la dosificación de aditivos sólido y líquido es la adecuada en cuanto a lo que se diseñó en la mayor parte del tramo.

#### 4.3 Evaluación funcional de la superficie de rodadura de la base estabilizada

Como se explicó en el capítulo 2, una vez realizada la estabilización se realizará una imprimación y se colocará un recubrimiento asfáltico, llamado Slurry Seal que servirá como protección a los agentes climatológicos y al desgaste por fricción.

Luego de aplicado el recubrimiento asfáltico se procedió a la medir la rugosidad de la carpeta de rodadura con el Bump Integrator. Ya que le espesor del recubrimiento es de 10mm se supondrá que los valores de IRI

medidos sobre el recubrimiento corresponden también a la base estabilizada. Estos no fueron medidos inmediatamente después del proceso constructivo de la base puesto que la base solamente con el aditivo no tiene resistencia al desgaste por fricción por lo tanto, no era necesario medir la rugosidad. Del análisis funcional se presenta la Tabla IV.3, donde se muestra el resumen del análisis de la rugosidad en el tramo.

Tabla IV.3 Resultados de la evaluación funcional del corredor vial luego de estabilizar la base con tecnología PROES.

<b>Tramo Puquio – Cora cora</b>	
Número de pruebas (n)	668
Promedio ( $\sigma/n$ )	2.89
Mínimo estadístico	2.46
Máximo estadístico	3.55
Desviación estándar	0.15
Varianza	0.024
Iri característico	3.03
Iri especificado	8

Fuente: Elaboración Propia

## **4.4 Contrastación de la hipótesis**

### **4.4.1 Material Experimental.**

Se establece un experimento bajo los lineamientos de un diseño factorial de completamente al azar. En el presente trabajo se emplea un plan experimental que contiene: 10 tratamientos ( $t=10$ ), arreglados en dos factores: factor A (Nº de golpes) y factor B (Penetración); y con 90 repeticiones distribuidas en forma balanceada ( $r=90$ ). El esquema para el diseño factorial completamente al azar es:

Tabla IV.4 Diseño del plan experimental

N°	1.41 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES			1.00 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES			0.75 BOLSAS DE CEMENTO + 0.25 LT/M3 DE ADITIVO PROES		
	56	25	12	56	25	12	56	25	12
1	R	r	r	r	r	r	r	r	r
2	R	r	r	r	r	r	r	r	r
3	R	r	r	r	r	r	r	r	r
4	R	r	r	r	r	r	r	r	r
5	R	r	r	r	r	r	r	r	r
6	R	r	r	r	r	r	r	r	r
7	R	r	r	r	r	r	r	r	r
8	R	r	r	r	r	r	r	r	r
9	R	r	r	r	r	r	r	r	r
10	R	r	r	r	r	r	r	r	r

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.5: Resultados muestrales de los puntajes obtenidos durante el proceso de experimentación

Penetración	1.41 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES			1.00 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES			0.75 BOLSAS DE CEMENTO + 0.25 LT/M3 DE ADITIVO PROES		
	56	25	12	56	25	12	56	25	12
<b>Pul</b>									
<b>0,025</b>	175	112	130	115	120	140	146	115	114
<b>0,05</b>	375	265	286	252	270	285	308	264	259
<b>0,075</b>	592	430	420	388	403	415	469	414	384
<b>0,1</b>	778	583	535	526	542	530	611	554	490

<b>0,15</b>	1062	880	735	821	770	713	895	805	669
<b>0,2</b>	1350	1165	904	1077	1002	856	1161	1017	815
<b>0,25</b>	1543	1370	1048	1305	1198	975	1360	1191	912
<b>0,3</b>	1736	1522	1185	1476	1346	1070	1586	1346	1055
<b>0,4</b>	1992	1780	1395	1732	1574	1235	1775	1520	1185
<b>0,5</b>	2191	1943	1538	1877	1673	1374	1888	1643	1288

Fuente: Elaboración Propia

Tabla IV.6: Análisis de Varianza para el Diseño Factorial Completamente al Azar

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Fc</b>
<b>Factor A (Penetración)</b>	9	24792155,656	2754683,962	304,684
<b>Factor B (Golpes)</b>	2	1246100,422	623050,211	68,913
<b>Factor A x Factor B</b>	18	694533,578	38585,199	4,268
<b>Error Experimental</b>	60	542466,667	9041,111	
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>27275256,322</b>		

Fuente: Elaboración Propia

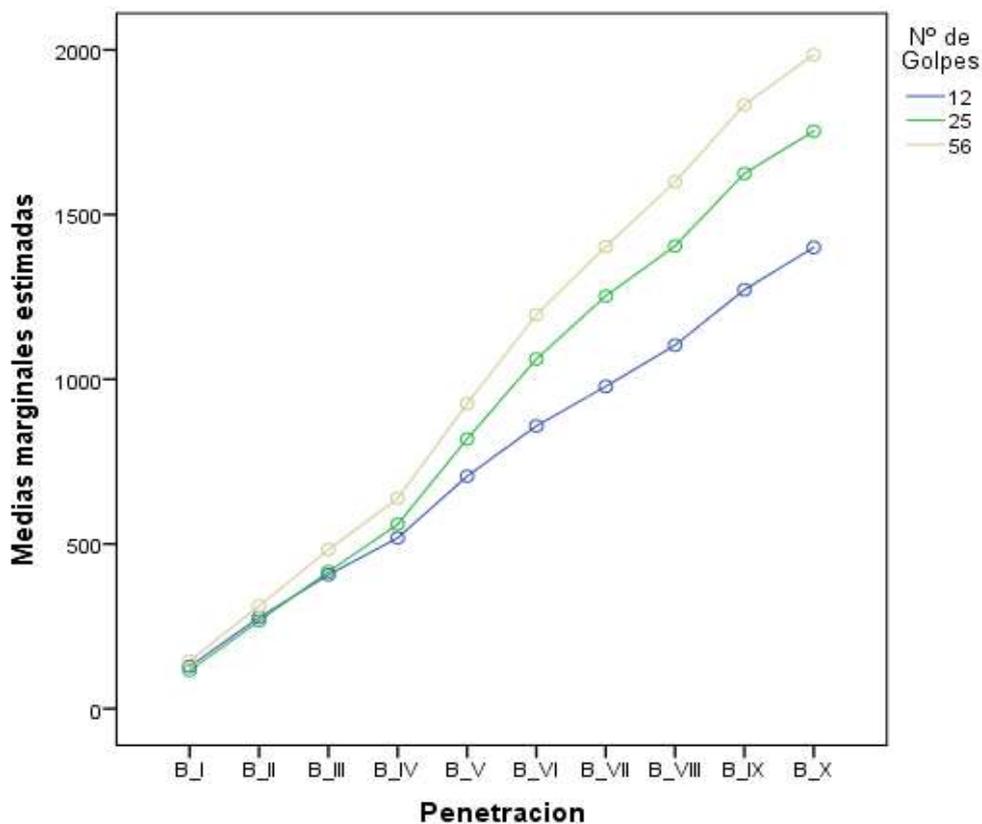
Se concluye a un nivel de significación de 0.05 que las evidencias muestrales indican que existe diferencia altamente significativa, es decir que al menos un puntaje promedio de los tratamientos difiere significativamente de la obtenida con una de los otros tratamientos. Esto implica que al menos un aumento de puntaje promedio obtenido con un tratamiento difiere por lo menos del obtenido con uno de los otros tratamientos en el incremento de puntaje promedio de la resistencia. Con respecto al factor A existe diferencias significativas entre la

Penetración en pulgadas de cada una de las medidas en pulgadas. Lo cual tienen efectos significativos

Con respecto al factor B existe diferencias significativas entre el número de golpes en 56, 25 y 12 golpes es decir tienen efectos significativos en cada uno de ellos.

Con respecto a la interacción del factor A con el Factor B existe diferencias significativas, dado que el valor de F es significativo entonces debemos concluir que tenemos evidencias de que exista interacción entre estos dos factores.

Figura IV.3. Medias marginales estimadas de repeticiones



Fuente: Elaboración Propia

Para el error experimental se recoge la variabilidad de la variable dependiente en este caso estabilidad del suelo afirmado; es decir no explicada en el modelo.

Para el total se recoge la variabilidad observada de la estabilidad del por todas las causas. Sin embargo el Análisis de Varianza no nos permite determinar cuál

es el tratamiento con el mayor aumento de promedio. Para ello se debe realizar una prueba de comparaciones múltiples como la prueba Duncan para el factor B

Tabla IV.7. Prueba de comparaciones Múltiples para el factor B

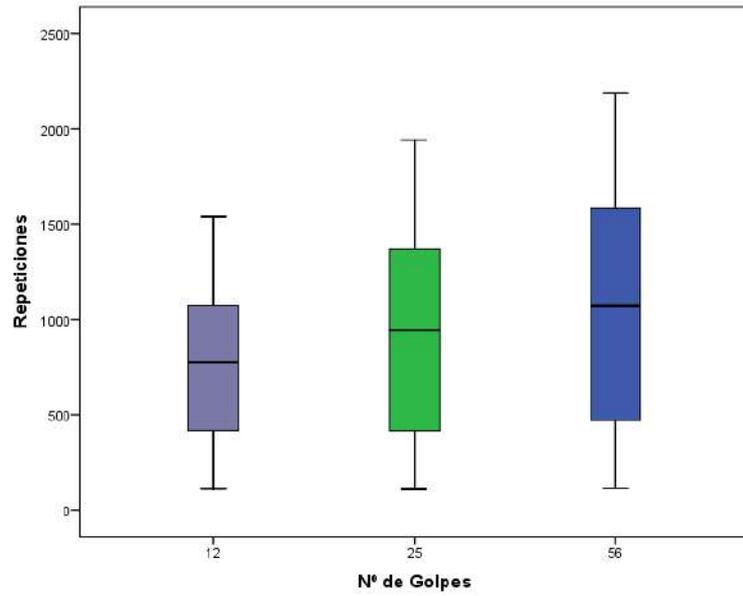
<b>Duncan</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Nº de Golpes</b>
A	1052,07	30	12
B	927,23	30	25
C	764,67	30	56

Fuente: Elaboración Propia

La Prueba de Duncan se presenta en forma vertical. El que los tratamientos tengan las mismas letras implica que no existen diferencias significativas entre ellos y por tanto se puede unir mediante una línea, como se presenta a continuación, en donde los tratamientos son ordenados en forma ascendente de acuerdo al puntaje promedio.

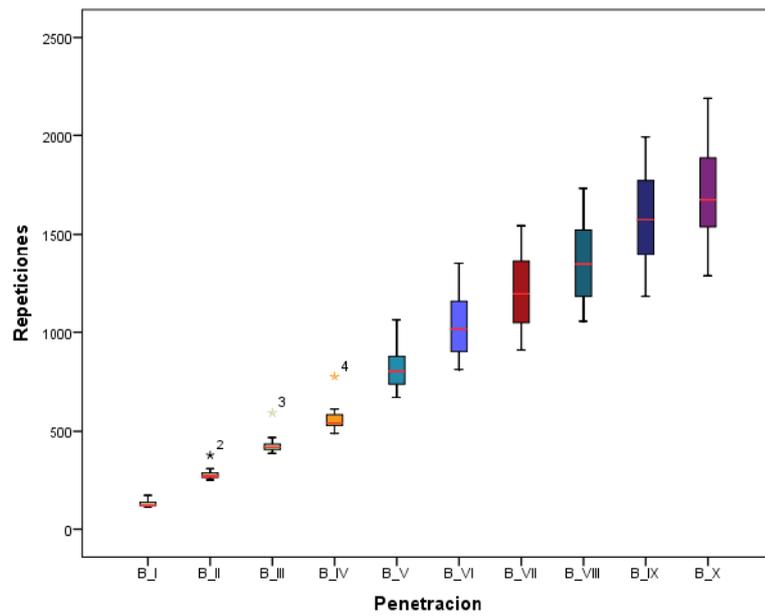
Para un  $\alpha = 0.05$  se puede concluir que entre los aumentos de puntaje promedio obtenidos con los tratamientos, de la resistencia de la comprensión, existen diferencias cuando se presentan entre los aumentos de puntaje promedio obtenidos con los tratamientos para la estabilidad del suelo afirmado. Por lo tanto del grafico se puede concluir que el puntaje promedio obtenido con 56 golpes es el mayor con relación a los demás.

Figura IV.4. Tratamientos de acuerdo al puntaje promedio



Fuente: Elaboración Propia

Figura IV.5. Tratamientos de acuerdo al puntaje promedio



Fuente: Elaboración Propia

## 4.4.2 Prueba de Hipótesis General

### 4.4.2.1 Hipótesis

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El aditivo enzimático Proes no tendría una contribución significativa en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2015.

**Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** El aditivo enzimático Proes tendría una contribución significativa en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2015.

#### a. Nivel de significación

$$\alpha = 0.05$$

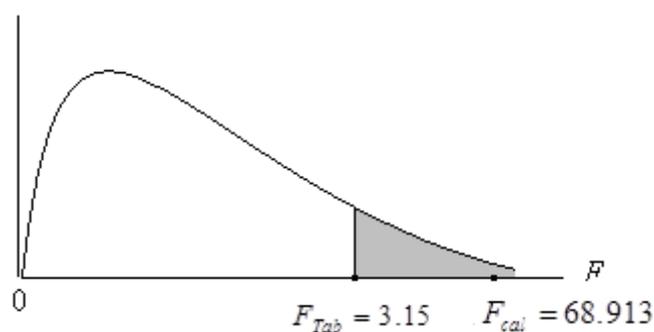
#### b. Estadístico de Prueba

$$F = \frac{CMT}{CME} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

#### c. Región Crítica

Para  $\alpha = 0.05$ , en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95, 2, 60} = 3.15$$



#### d. Decisión

A un nivel de significación del 5%  $F_{cal} = 68.913$  cae en la región de rechazo, debemos rechazar la Hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis alterna y concluimos que los puntajes promedio del aditivo

enzimático Proes tuvo efectos significativos y positivos en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2015., durante el proceso experimentación.

#### 4.4.3 Prueba de hipótesis específica uno

##### 4.4.3.1 Hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** Los materiales utilizados con el aditivo enzimático Proes no tendrían contribución significativa en la estabilización de suelos afirmados en la carretera de Puquio- Coracora.

**Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** Los materiales utilizados con el aditivo enzimático Proes tendrían contribución significativa en la estabilización de suelos afirmados en la carretera de Puquio- Coracora.

##### a. Nivel de significación

$$\alpha = 0.05$$

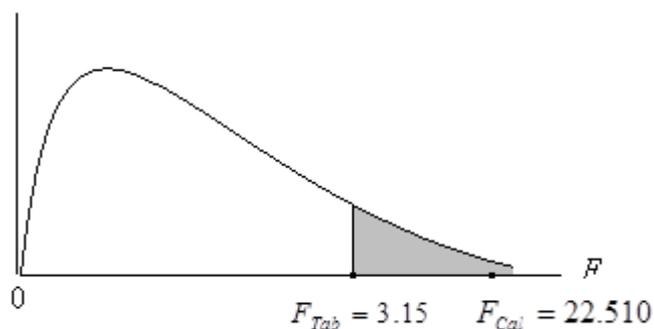
##### b. Estadístico de Prueba

$$F = \frac{CMT}{CME} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

##### c. Región Crítica

Para  $\alpha = 0.05$ , en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,1,14} = 4.56$$



#### d. Cálculos

Análisis de Varianza para Los materiales utilizados con el aditivo enzimático Proes en la estabilización de suelos afirmados

Tabla IV.8. Análisis de varianza para materiales utilizados

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
<b>Bloques (Compactación)</b>	1	214949,389	214949,389	22,510
<b>Tratamientos (golpes)</b>	2	484030,333	242015,167	25,344
<b>Error Experimental</b>	14	133688,778	9549,198	
Total	17	832668,500		

Fuente: **Elaboración Propia**

#### e. Decisión

A un nivel de significación del 5%  $F_{cal} = 22.510$  cae en la región de rechazo, debemos rechazar la Hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis alterna y concluimos que los puntajes promedio de los materiales utilizados con el aditivo enzimático proes tiene efectos significativos en el proceso de la estabilización de suelos afirmados en la carretera de Puquio- Coracora

#### 4.4.4 Prueba de Hipótesis Especifica dos

##### 4.4.4.1 Hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La conformación del aditivo enzimático Proes no tendría efectos significativos en la estabilización de suelos afirmados en la carretera de Puquio- Coracora.

**Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** La conformación del aditivo enzimático Proes tendría efectos significativos en la estabilización de suelos afirmados en la carretera de Puquio- Coracora.

##### a. Nivel de significación

$$\alpha = 0.05$$

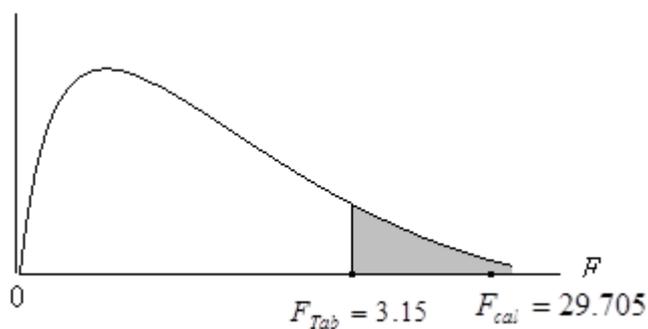
##### b. Estadístico de Prueba

$$F = \frac{CMT}{CME} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

##### c. Región Crítica

Para  $\alpha = 0.05$ , en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,2,18} = 3.15$$



#### d. Cálculos

**Tabla N° 01**

Tabla IV.9. Análisis de Varianza para la conformación del aditivo enzimático Proes

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Fc</b>
<b>Bloques (Dosificación)</b>	2	870399,872	435199,936	29,075
<b>Tratamientos (rep)</b>	9	3700640,610	411182,290	27,470
<b>Error Experimental</b>	18	269430,253	14968,347	
Total	29	4840470,735		

Fuente: Elaboración Propia

#### e. Interpretación

A un nivel de significación de 0.05 que las evidencias muestrales indican que al menos un puntaje promedio de los diferentes métodos de evaluación de la conformación del aditivo enzimático, durante el proceso de experimentación, difiere significativamente entre los demás bloques a nivel de dosis.

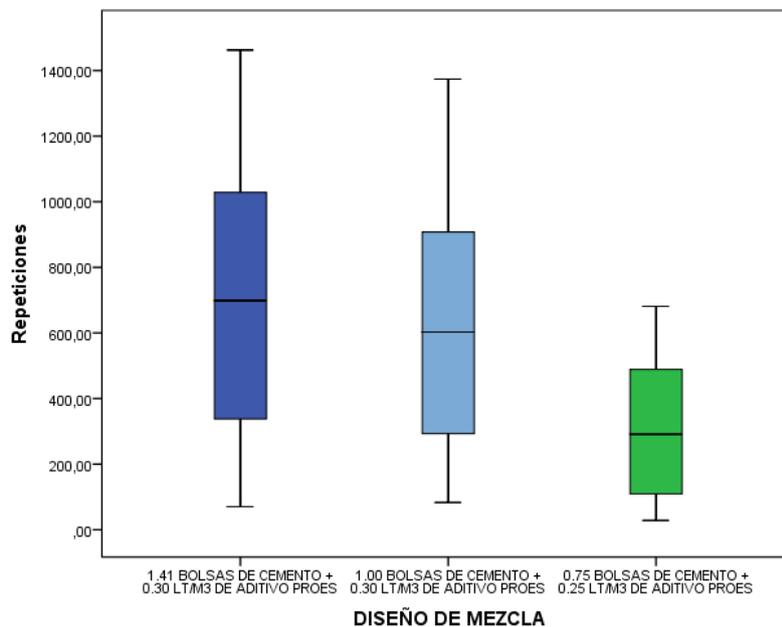
Sin embargo el análisis de varianza no permite determinar cuál de los bloques es el que difiere estadísticamente entre ellos; lo que implica que no muestra que dosis tiene el mayor puntaje promedio durante el proceso de experimentación. Para tal efecto se debe realizar una prueba de comparaciones de medias.

Tabla IV.10. Diferencia de Medias para el Puntaje Promedio

Duncan	Media	N	Nº de Golpes
A	709,2027	10	1.41 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES
A	636,8030	10	1.00 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES
B	317,1536	10	0.75 BOLSAS DE CEMENTO + 0.25 LT/M3 DE ADITIVO PROES

Fuente: Elaboración Propia

Figura IV.6. Diferencia de Medias para el Puntaje Promedio



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto se concluye que con un nivel de significancia de 0.05 podemos afirmar que el puntaje promedio de los diferentes dosis de la **conformación del**

**aditivo enzimático Proes en la estabilización de suelos afirmados** tiene diferencias estadísticas, y difieren significativamente entre los diferentes tipos de dosificación en la evaluación y por lo tanto la dosis que mas aportan al presente trabajo de investigación es 1.41 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES y 1.00 BOLSAS DE CEMENTO + 0.30 LT/M3 DE ADITIVO PROES tal como se muestra en la tabla de diferencia de medias y el diagrama de cajas.

**Decisión.-** A un nivel de significación del 5%  $F_{cal} = 29.705$  cae en la región de rechazo, debemos rechazar la Hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis alterna y concluimos que los puntajes promedio de dosificación para la conformación del aditivo enzimático tiene efectos significativos en la estabilización de suelos afirmados, es decir no es igual entre ellas y difiere significativamente, durante el proceso experimentación.

## CONCLUSIONES

- Primero:** Las pruebas realizadas en la carretera demuestran que al aplicar el aditivo PROES existe la tendencia al incremento en las propiedades de resistencia necesarias para garantizar un adecuado nivel de servicio
- Segundo:** La resistencia mecánica del afirmado aumenta su valor confirmándose una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 200% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo. Así mismo los resultados de CBR tienen coherencia respecto a los valores esperados según el diseño de la base estabilizada, ya que según diseño a partir del valor 116% se alcanzaba el número estructural de 0.87, Esto sirve de evidencia para demostrar que en este tipo de caminos con una baja demanda de tránsito, se puede construir una carretera de calidad sin implicar grandes costos de construcción mediante el uso de aditivo PROES.
- Tercero:** Respecto a los datos, es evidente que luego de estabilizar con el aditivo los valores que resultan de evaluar la base estabilizada se encuentran siempre alrededor del promedio, lo que asegura una baja dispersión. Esto es de gran ayuda en carreteras puesto que la serviciabilidad de la misma será muy parecida a lo largo de todo el tramo. Puesto que se han alcanzado todos los parámetros mínimos especificados por el proyecto y que garantizan un adecuado nivel de serviciabilidad, se concluye que el aditivo PROES sí mejora las propiedades físicas y mecánicas de una base para carretera. Es importante recalcar que el aditivo por sí mismo no brinda una protección al desgaste por rodadura, es por eso que se debe proteger con mortero asfáltico.

## RECOMENDACIONES

- Primero.** Es recomendable realizar tramos de prueba con el producto estabilizante y hacer un seguimiento minucioso del proceso para observar su comportamiento ante factores externos como es los aspectos climáticos que inciden fuertemente en el comportamiento de dichas estructuras
- Segundo.** Se recomienda plantear otras alternativas de estabilizantes a fin de realizar comparaciones y así determinar cuál es el más adecuado en zonas donde las inclemencias del tiempo son determinantes en los procesos de estabilización

## BIBLIOGRAFIA

- Apuntes de Ingeniería Civil. (2011). Obtenido de <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/06/funciones-de-las-capas-del-pavimento.html>.
- Arriaga, M., Garnica, P., & Rico, A. (1998). Índice Internacional De Rugosidad En La Red Carretera De México: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTécnica/pt108.pdf>.
- Atarama, E. (2015). Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES. Tesis publicada en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Barrera, M., & Garnica, P. (2002). Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres: Instituto Mexicano de Transportes. Obtenido de
- Castro, B. (2009). Características de los equipos y programas: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6124/8/capítulo%203.pdf>
- Céspedes Abanto, J. M. (2002). Los pavimentos en las vías terrestres calles, carreteras y aeropuertos. Cajamarca.
- CGVN, C. G. (2010). Proyecto de gestión Vial, Tramo Huancabamba Canchaque. Piura. CONREVIAl. (1983). Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Capítulo v: Aspectos de evaluación de pavimentos. Lima.
- Del Aguila Rodrigues, P. (2000). Metodología Para La Determinación De La Rugosidad De Los Pavimentos: Camineros SAC. Obtenido de <http://www.camineros.com/docs/cam011.pdf>

Dr. Mellis, M. (1992). Calculo del IRI de una carretera a partir de su perfil longitudinal. Rutas.

Dynatest Chile S.A. (2010). Uso del deflectometro liviano LWD y otras alternativas para la evaluación de pavimentos con tecnología Proes. Santiago de Chile.

Gutiérrez Montes, C. A. (2010). Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio.

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTécnica/pt198.pdf>

Leal Noriega, M. H. (2010). Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocalculo y el encontrado en ensayos de laboratorio. Bogotá.

Medina, L., & otros, y. (2000). Nociones Básicas de cálculo inverso de Firmes. España: AEPO S.A.

MTC, M. d. (2000). Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada MTC E 115-2000. Lima.

MTC, M. d. (2013). Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción. Lima.

MTC, M. d. (2000). Manual de ensayos de materiales para carreteras. Lima.

MTC, M. d. (2001). Manual de diseño Geométrico para carreteras. Lima

MTC, M. d. (2004). Norma Técnica de Estabilizadores químicos, MTC E 1109 - 2004. Lima.

MTC, M. d. (2008). Manual de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima.

MTC, M. d. (2008). Manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima.

MTC, M. d. (2008). Manual para la conservación de carreteras no

pavimentadas de Bajo volumen de Transito - Volumen 1. Lima.

MTC, M. d. (2011). Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo tránsito.

MTC, M. d. (2013). Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial. Lima. MTC, M. d. (2013). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Lima. MTC, M. d. (s.f.). Manual de Carreteras: Mantenimiento y conservación Vial. Lima

Obando, W. (2014). La conservación vial por niveles de servicio. Obtenido de [https://www.academia.edu/6288437/LA\\_CONSERVACION\\_DEL\\_SERVICIO\\_VIAL](https://www.academia.edu/6288437/LA_CONSERVACION_DEL_SERVICIO_VIAL)

Orozco, M., Telles, R., & Solorio, R. (2004). Sistema de evaluación de pavimentos: Instituto Mexicano de Transportes. Obtenido de [http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación Técnica/pt245.pdf](http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación_Técnica/pt245.pdf)

Petrioriente, S. (2011). Productos. Obtenido de <http://petrioriente.com/productos.html> PROESTECH, S. (2011). Caminos estabilizados con Proes.

Ravines Merino, M. A. (2010). Tesis Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador. Universidad de Piura. Piura

Romero, J. A. (1996). La respuesta dinámica de un cuarto de carro y el índice internacional de rugosidad: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de [http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación Técnica/pt67.pdf](http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación_Técnica/pt67.pdf)

Sayers, M. (1986). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements. Washington DC: World Bank Technical paper N° 46.

Sayers, M., Gillespie, T., & Queiroz, C. (1986). The international Road Roughness Experiment: BancoMundial. Obtenido de [http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación Técnica/pt45.pdf](http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Publicación_Técnica/pt45.pdf)

Tello, G. (diciembre de 2012). Compactación de suelos: Universidad Nacional de ingeniería, Departamento de Mecánica de Suelos.

Obtenido de <http://es.slideshare.net/ERaCC1/compactacion-de-suelos-15469536>

Villa, P. (Noviembre de 2013). Compactación de Suelo: Universidad de la República de Uruguay. Obtenido de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/70688/mod\\_resource/content/1/Clase%20Compactaci%C3%B3n.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/70688/mod_resource/content/1/Clase%20Compactaci%C3%B3n.pdf)

# ANEXOS

## **Anexo 1**

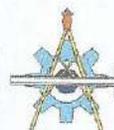
### **ENSAYOS DE LABORATORIO, CBR**

## Anexo N° 02

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

ADITIVO PROES Y SU CONTRIBUCIÓN EN LA ESTABILIDAD DE SUELO AFIRMADO EN LA CARRETERA DE PUQUIO-CORACORA AYACUCHO 2016

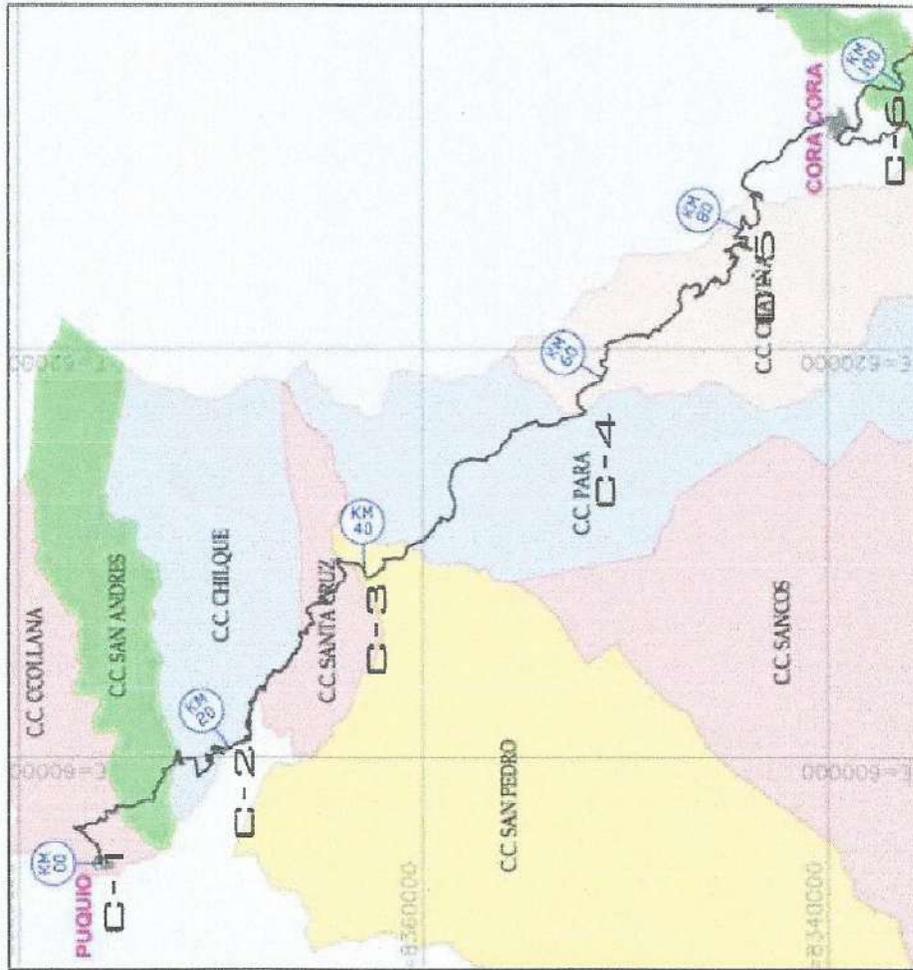
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIEMNSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>2. Problema general:</b> ¿Cuál es la contribución del Aditivo enzimático Proes en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2016?</p> <p><b>Problema específico:</b> ¿En qué medida contribuye el aditivo enzimático Proes en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio- Coracora?</p> <p>¿En qué medida contribuye el aditivo enzimático Proes en la permeabilidad del suelo afirmados en la carretera de Puquio- Coracora?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la contribución del Aditivo Enzimático Proes en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2016.</p> <p><b>Objetivo específico:</b> Analizar la contribución del aditivo enzimático Proes en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora?</p> <p>Analizar la contribución del aditivo enzimático Proes en la permeabilidad del suelo afirmados en la carretera de Puquio-Coracora?</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El aditivo enzimático Proes tendría una contribución significativo en la estabilidad de suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora Ayacucho 2016.</p> <p><b>Hipótesis específica:</b> La aplicación del aditivo enzimático Proes tendrían contribución en la resistencia mecánica del suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora?</p> <p>La aplicación del aditivo enzimático Proes tendrían contribución en la permeabilidad del suelo afirmado en la carretera de Puquio-Coracora?</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (x) Aditivo Enzimático. Proes</p>	<p>Aditivo químico</p>	<p>Proporción de mezclado</p> <p>Diseño de mezcla con aditivo PROES</p>	<p><b>TIPO:</b> Cuantitativa, aplicado, causal</p> <p><b>NIVEL:</b> Explicativo, analítico</p> <p><b>DISEÑO:</b> evaluativa</p> <p><b>MÉTODO:</b> Deductivo-inductivo</p> <p><b>POBLACIÓN:</b> CARRETERA DE PUQUIO-CORACORA AYACUCHO</p> <p><b>MUESTRA:</b> Desde la progresiva 0+00 HASTA 0+3000</p> <p><b>TÉCNICAS:</b> Observación</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> Fichas De Observación estructurada</p> <p>Certificaciones</p> <p>Ensayos de laboratorio</p> <p><b>PROCEDIMIENTO S:</b> ANOVA. t de students</p>
			<p>VARIABLE DEPENDIENTE (y) Estabilidad de suelo afirmado</p>	<p>Resistencia mecánica a la compresión</p>	<p>permeabilidad</p>	



## Plano De Ubicación De Calicatas Y Registros De Perforación

T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101100

# UBIGACION DE GALIGATAS

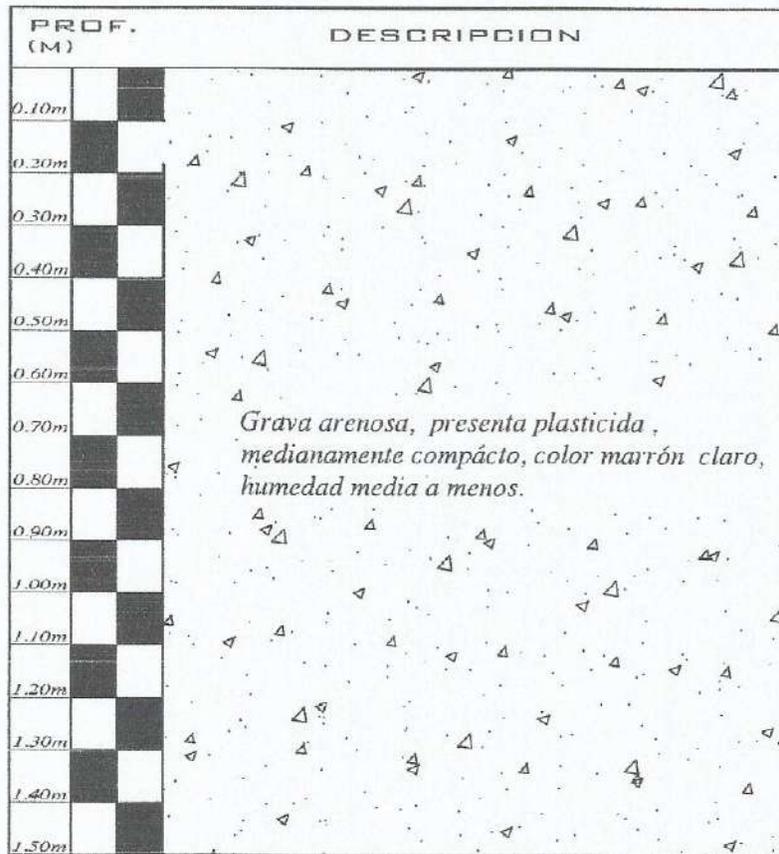


*SH & ML*  
**T. Christian González Céspedes**  
 INGENIERO CIVIL  
 CLP. 191180

**SH & ML S.R.L.**  
 ARQUITECTURA E  
 INGENIERIA DE PROYECTOS

PROYECTO:	"CONSERVACION VIAL CORACORA"	
UBICACION:	Puquio	Canta Cora- Ayacucho*
		JULIO, 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



CALIGATA-01.  
PROGRESIVA 0+000

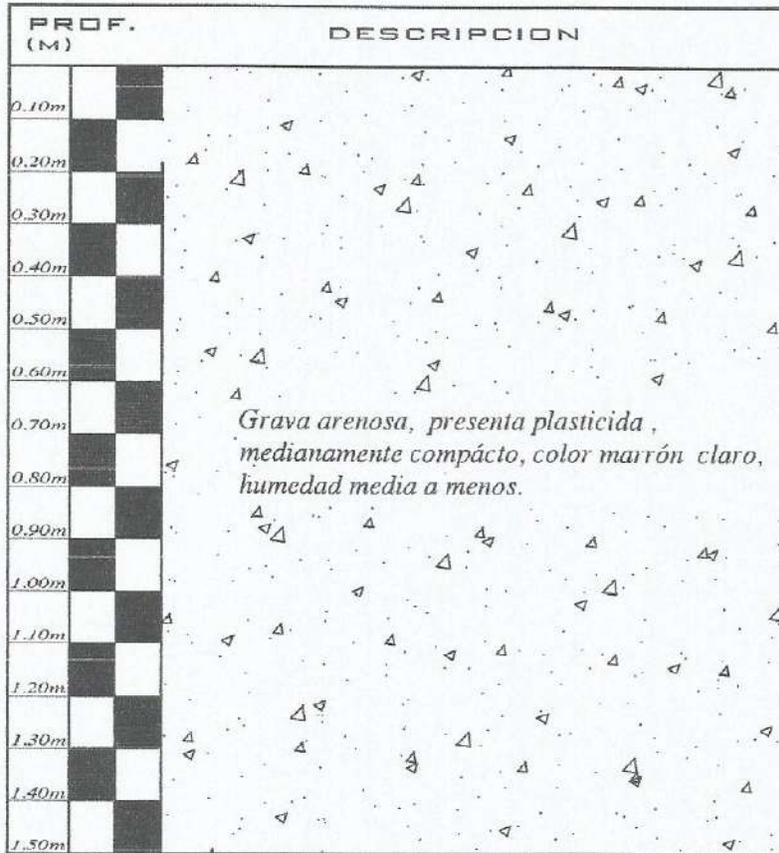


*T. Christian Gonzales Casaco*  
**T. Christian Gonzales Casaco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 181180

**SH & ML S.R.L.**  
 ARQUITECTURA E  
 INGENIERIA DE PROYECTOS

PROYECTO:	"CONSERVACION VIAL COBACORA"	
UBICACION:	"Pueblo - Casa Cuva - Atacocha"	JULIO: 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



CALICATA-02.  
PROGRESIVA 20+000

  
**T. Christian Gonzales Conzaco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 101160

**SH & ML S.R.L.**  
 ARQUITECTURA E  
 INGENIERIA DE PROYECTOS

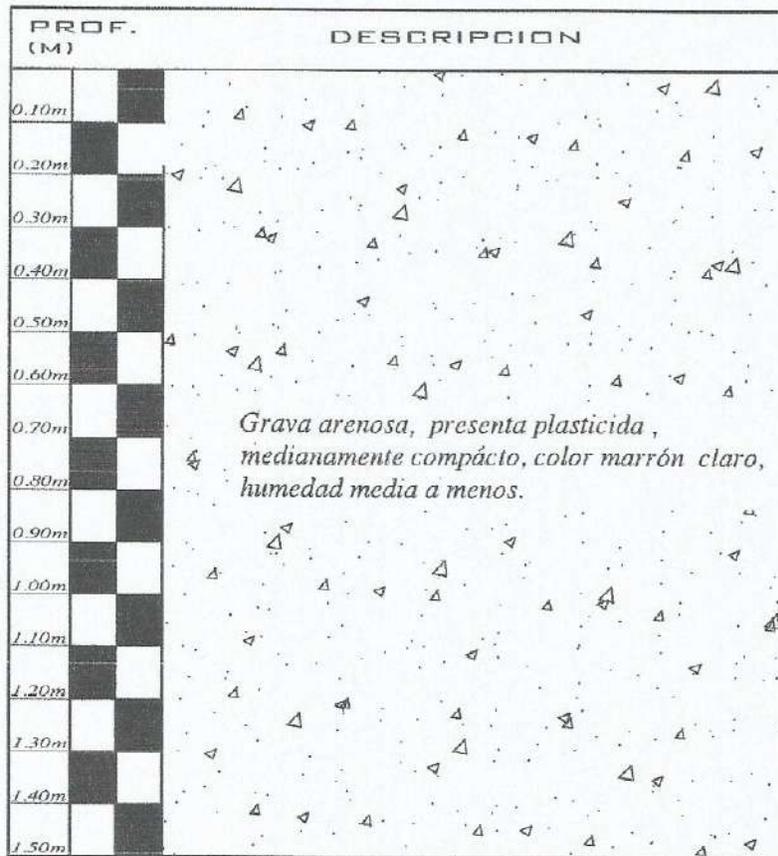


PROYECTO:  
"CONSERVACION VIAL CONZACO"

UBICACION:  
"Pueblo - Cava Cava - Ayacucho"

JULIO: 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



**CALICATA-03.  
PROGRESIVA 4+000**

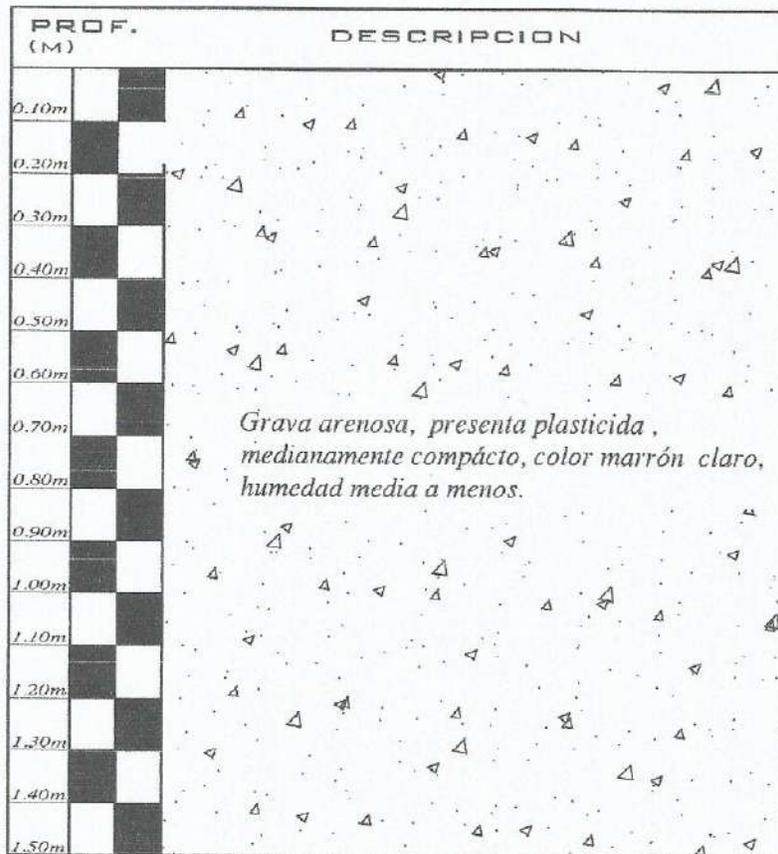
**T. Christian Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181150

**SH & ML S.R.L.**  
ARQUITECTURA E  
INGENIERIA DE PROYECTOS



PROYECTO: "CONSERVACION VIAL CORACORA"	
UBICACION: "Puzos - Cera Cera - Apurisco"	JULIO: 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



CALICATA-4.  
PROGRESIVA 60+000

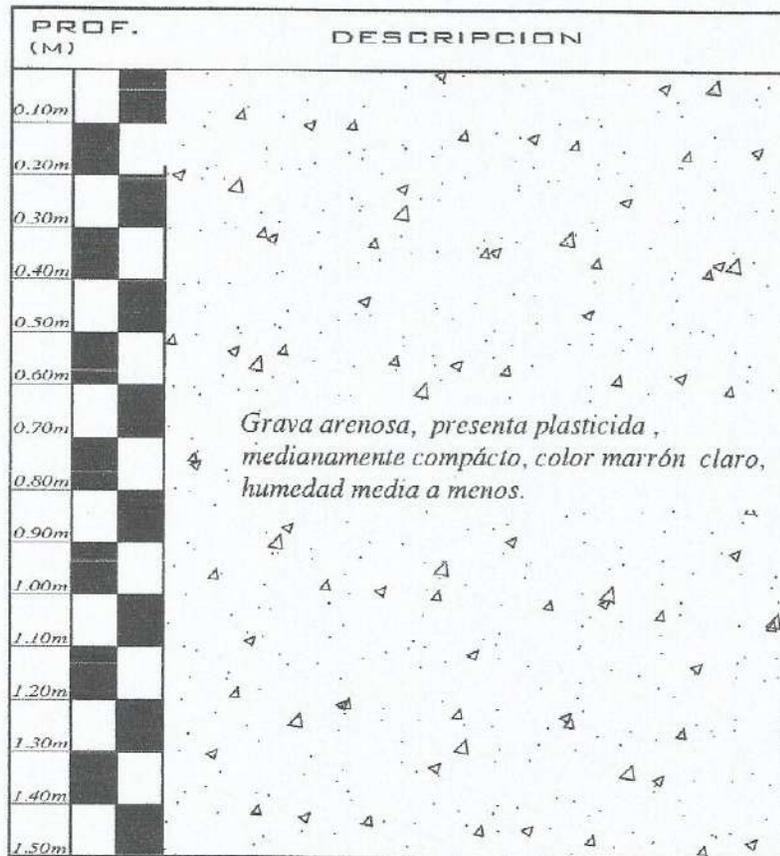
*T. Christian Gonzales Cossato*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.A. 181580

SH & ML S.R.L.  
ARQUITECTURA E  
INGENIERIA DE PROYECTOS



PROYECTO:	"CONSERVACION VIAL CORACORA"	
UBICACION:	"Pueblo Cora Cora - Arequipa"	JULIO: 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



CALICATA-5.  
PROGRESIVA 80+000

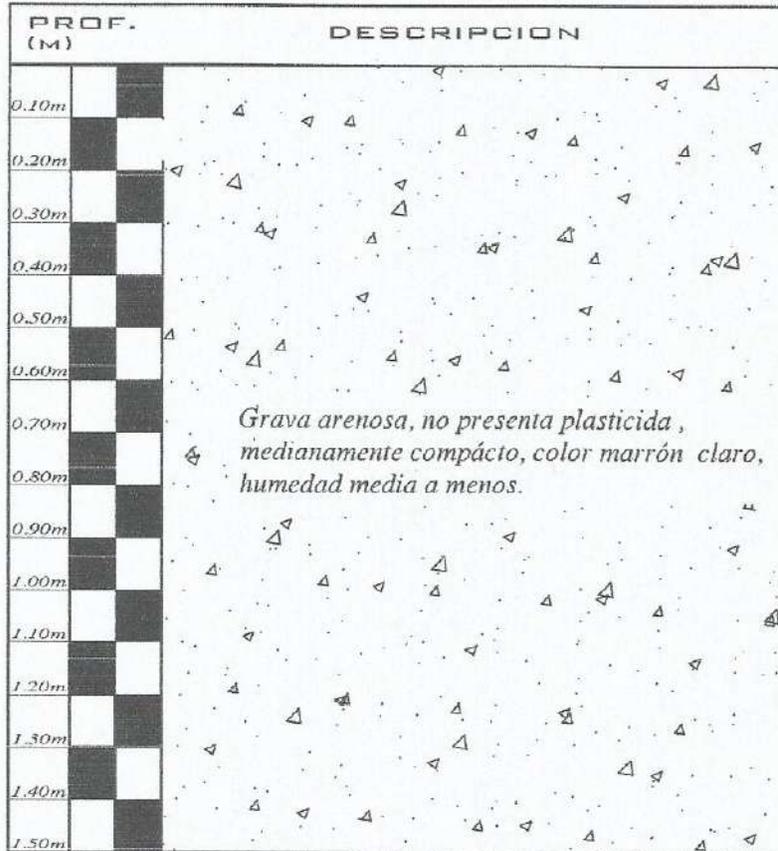
*T. Christian Gonzales Cordero*  
**T. Christian Gonzales Cordero**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.L.P. 161160

**SH & ML S.R.L.**  
 ARQUITECTURA E  
 INGENIERIA DE PROYECTOS



PROYECTO: "CONSERVACION VIAL CORACORA"	
UBICACION: "Parque Casa Coracora"	JULIO: 2016

# PERFIL ESTRATIGRAFICO



CALICATA- 6.  
PROGRESIVA 100+000

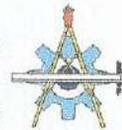
*[Handwritten Signature]*

T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

SH & ML S.R.L  
ARQUITECTURA E  
INGENIERIA DE PROYECTOS



PROYECTO: "CONSERVACION VIAL CANACORA"	
UBICACION: "Pueblo - Casa Cano - Amacuta"	JULIO: 2016



---

## Resultado de Ensayos Suelo de Fundación.

T. Christian Gonzalez Casco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101160





PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA: CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"

CALICATA: 1

MUESTRA : 01

PROGRESIVA: 0+000 m.

PROFUNDIDAD :1.50 m

FECHA : 10/07/16

Malla	Abertura En (mm)	Retenido Peso (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
3	75.000				
2-1/2	63.500				
2	50.800				100.00
1-1/2	38.100	178.00	8.75	8.75	91.25
1	25.400	582.00	28.61	37.36	62.64
3/4	19.050	178.00	8.75	46.12	53.88
3/8	9.525	262.00	12.88	59.00	41.00
N° 4	4.763	200.00	9.83	68.83	31.17
N° 10	2.000	214.00	10.52	79.35	20.65
N° 20	0.852	178.00	8.75	88.10	11.90
N° 40	0.426	114.00	5.60	93.71	6.29
N° 100	0.194	94.00	4.62	98.33	1.67
N° 200	0.074	20.00	0.98	99.31	0.69
FONDO		14.00	0.69	100.00	
Zumatorias =>		2,034.00	100.00		

### DATOS

Limite Liquido  
Limite Plastico

Apreciacion Visual

Presenta Organicos? NO

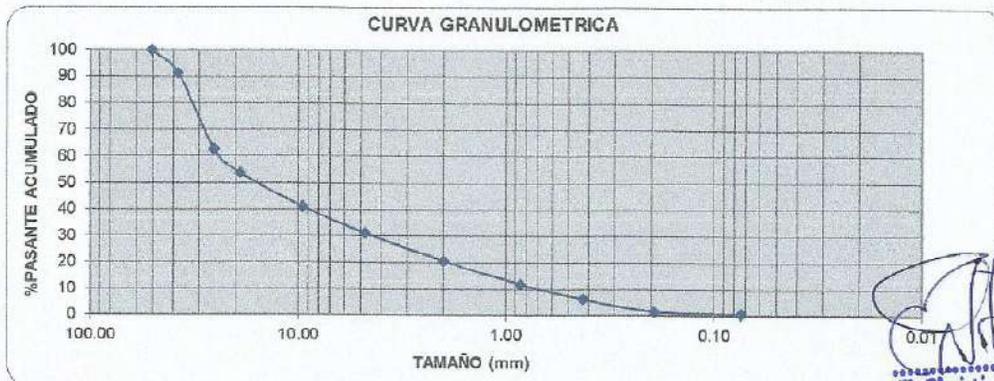
### RESULTADOS

GRAVA	68.83%
ARENA	30.48%
FINOS	0.69%

D60	23.49
D30	4.46
D10	0.71
Cu	33.19
Cc	1.19

INDICE PLASTICO

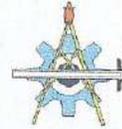
Clasificacion SUCS GC  
Clasificacion AASTHO A-1a(0)



*[Signature]*  
**T. Christian Gonzalez Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 48190

Partida Registral N° 11017842  
Calle Corbacho 116 - Departamento 01  
RPM: #941948070

RUC N° 20498405275  
Teléfono 054 - 630140  
Celular 95-9796480 (Claro)



PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA: CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio – Cora Cora- Ayacucho"

CALICATA: 2

MUESTRA : 01

PROGRESIVA: 20+000 m.

PROFUNDIDAD :1.50 m

FECHA : 10/07/16

Malla	Abertura En (mm)	Retenido Peso (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
3	75.000				
2-1/2	63.500				
2	50.800				100.00
1-1/2	38.100	164.00	7.95	7.95	92.05
1	25.400	118.00	5.72	13.68	86.32
3/4	19.050	184.00	8.92	22.60	77.40
3/8	9.525	318.00	15.42	38.02	61.98
N° 4	4.763	398.00	19.30	57.32	38.88
N° 10	2.000	272.00	13.19	70.51	29.49
N° 20	0.852	158.00	7.66	78.18	21.82
N° 40	0.426	152.00	7.37	85.55	14.45
N° 100	0.194	176.00	8.54	94.08	5.92
N° 200	0.074	40.00	1.94	96.02	3.98
FONDO		82.00	3.98	100.00	
Zumatorias =>		2,062.00	100.00		

### DATOS

Limite Liquido NO PRESENTA  
Limite Plastico  
Apreciacion Visual  
Presenta Organicos? NO

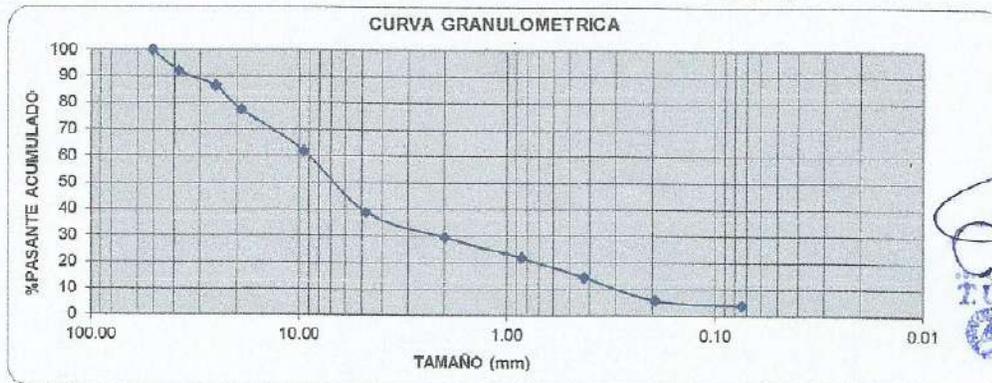
### RESULTADOS

GRAVA	61.12%
ARENA	34.90%
FINOS	3.98%

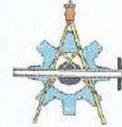
D60 9.12  
D30 2.15  
D10 0.30  
Cu 29.89  
Cc 1.66

INDICE PLASTICO

Clasificacion SUCS GC  
Clasificacion AASTHO A-1a(0)



*[Signature]*  
T. Christian Gonzalez Novaro  
INGENIERO CIVIL  
C.L.P. 181160



PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA: CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio – Cora Cora- Ayacucho"

CALICATA: 3

MUESTRA : 01

PROGRESIVA: 40+000 m.

PROFUNDIDAD :1.50 m

FECHA : 10/07/16

Malla	Abertura En (mm)	Retenido Peso (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
3	75.000				
2-1/2	63.500				
2	50.800				100.00
1-1/2	38.100	174.00	8.94	8.94	91.06
1	25.400	130.00	6.68	15.62	84.38
3/4	19.050	170.00	8.74	24.36	75.64
3/8	9.525	320.00	16.44	40.80	59.20
N° 4	4.763	295.00	15.16	55.96	44.04
N° 10	2.000	270.00	13.87	69.84	30.16
N° 20	0.852	140.00	7.19	77.03	22.97
N° 40	0.426	150.00	7.71	84.74	15.26
N° 100	0.194	175.00	8.99	93.73	6.27
N° 200	0.074	40.00	2.06	95.79	4.21
FONDO		82.00	4.21	100.00	
Zumatorias =>		1,946.00	100.00		

### DATOS

Limite Liquido NO PRESENTA  
Limite Plastico  
Apreciacion Visual  
Presenta Organicos? NO

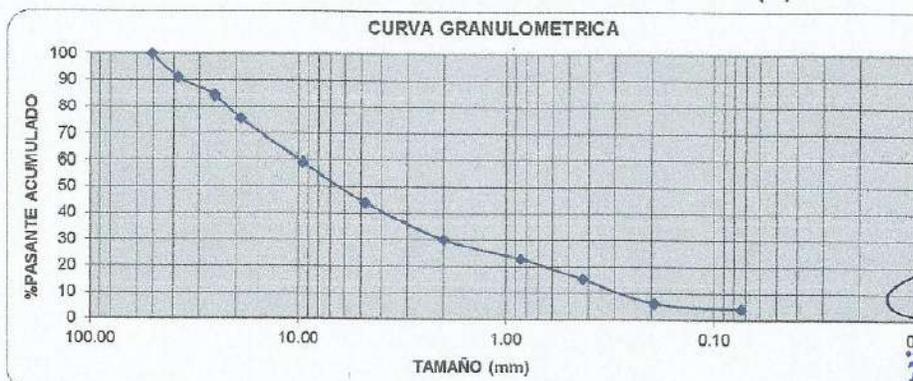
### RESULTADOS

GRAVA	55.96%
ARENA	39.83%
FINOS	4.21%

D60 9.99  
D30 1.97  
D10 0.29  
Cu 34.42  
Cc 1.34

INDICE PLASTICO

Clasificacion SUCS GC  
Clasificacion AASTHO A-1a(0)



*[Signature]*  
T. Christina Gonzales Cayco  
INGENIERO CIVIL  
C.L.P. 181150



PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA"

SOLICITA: CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"

CALICATA: 4

MUESTRA : 01

PROGRESIVA: 60+000 m.

PROFUNDIDAD :1.50 m

FECHA : 10/07/16

Malla	Abertura En (mm)	Retenido Peso (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
3	75.000				
2-1/2	63.500				100.00
2	50.800	100.00	5.26	5.26	94.74
1-1/2	38.100	110.00	5.79	11.05	88.95
1	25.400	220.00	11.58	22.63	77.37
3/4	19.050	230.00	12.11	34.74	65.26
3/8	9.525	200.00	10.53	45.26	54.74
N° 4	4.763	250.00	13.16	58.42	41.58
N° 10	2.000	190.00	10.00	68.42	31.58
N° 20	0.852	170.00	8.95	77.37	22.63
N° 40	0.426	140.00	7.37	84.74	15.26
N° 100	0.194	130.00	6.84	91.58	8.42
N° 200	0.074	70.00	3.68	95.26	4.74
FONDO		90.00	4.74	100.00	
Zumatorias =>		1,900.00	100.00		

### DATOS

Limite Liquido SI

Limite Plastico SI

Apreciacion Visual

Presenta Organicos? NO

### RESULTADOS

GRAVA	58.42%
ARENA	36.84%
FINOS	4.74%

D60 14.29

D30 1.80

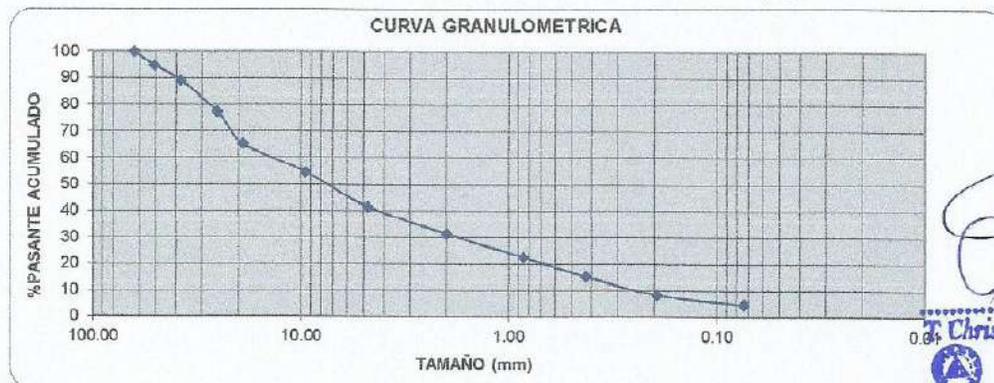
D10 0.25

Cu 57.72

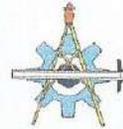
Cc 0.91

INDICE PLASTICO

Clasificacion SUCS GC  
Clasificacion AASTHO A-1a(0)



*Christian Gonzales Coascco*  
INGENIERO CIVIL  
C.L.P. 181160



PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA"

SOLICITA: CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio – Cora Cora- Ayacucho"

CALICATA: 5

MUESTRA : 01

PROGRESIVA: 80+000 m.

PROFUNDIDAD :1.50 m

FECHA : 10/07/16

Malla	Abertura En (mm)	Retenido Peso (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
3	75.000				
2-1/2	63.500				100.00
2	50.800	105.00	3.98	3.98	96.02
1-1/2	38.100	195.00	7.40	11.39	88.61
1	25.400	310.00	11.76	23.15	76.85
3/4	19.050	265.00	10.06	33.21	66.79
3/8	9.525	220.00	8.35	41.56	58.44
N° 4	4.763	220.00	8.35	49.91	50.09
N° 10	2.000	290.00	11.01	60.91	39.09
N° 20	0.852	200.00	7.59	68.50	31.50
N° 40	0.426	190.00	7.21	75.71	24.29
N° 100	0.194	290.00	11.01	86.72	13.28
N° 200	0.074	250.00	9.49	96.20	3.80
FONDO		100.00	3.80	100.00	
Zumatorias =>		2,635.00	100.00		

### DATOS

Limite Líquido  
Limite Plástico

NO PRESENTA

Apreciación Visual

Presenta Organicos? SI

Es Altamente Organico? SI

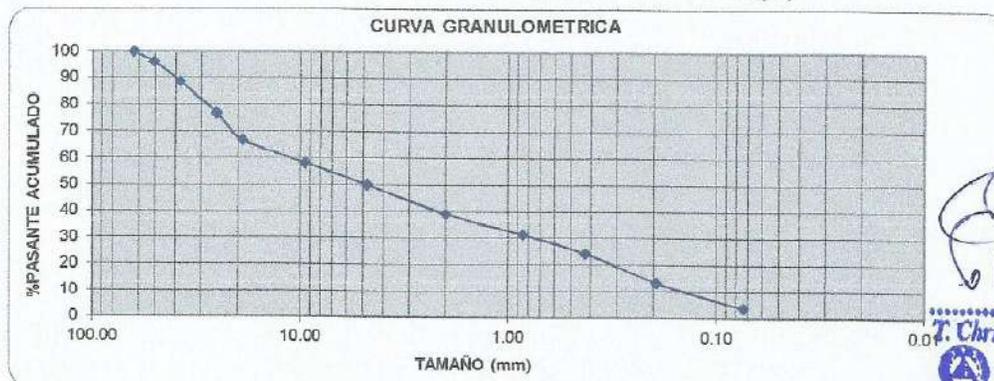
### RESULTADOS

GRAVA	49.91%
ARENA	46.30%
FINOS	3.80%

D60 11.30  
D30 0.76  
D10 0.15  
Cu 74.11  
Cc 0.34

INDICE PLASTICO SI

Clasificación SUCS GC  
Clasificación AASTHO A-1a(0)



*Christian Gonzales Coosco*

**T. Christian Gonzales Coosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 191180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CONDORITO 119 - Dpto. 1 - AYacuCHO

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos**DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556**

<b>PROYECTO</b> : CONSERVACION VIAL CORACORA
<b>SOLICITA</b> : CONCAR S.A
<b>UBICACIÓN</b> : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho" <span style="float: right;"><b>FECHA</b> : 10-jul-16</span>

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>
<b>CALICATA</b> : N° - 1
<b>PROFUNDIDAD</b> : 1.50 m.
<b>PROGRESIVA</b> : 0+000

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	2850.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	2655.0
Peso de Cono +Arenas inicial	gf.	7650.0
Peso de Cono +Arenas final	gf.	3620.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	2310.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1571.4
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	2655.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1571.4
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.690
Contenido de Humedad	%	7.01
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.58

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	1404.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	1312.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	1404.00
Peso del Suelo Seco	gf.	1312.00
Peso del Agua	gf.	92.00
Humedad	%	7.01

T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-816596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos**DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556****PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA****SOLICITA : CONCAR S.A****UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"****FECHA : 10-jul-16****DATOS DE LA MUESTRA****CALICATA : N° - 2****PROFUNDIDAD: 1.50 m.****PROGRESIVA: 20+000**

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	3150.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	2955.0
Peso de Cono +Arenas inicial	gf.	7545.0
Peso de Cono +Arenas final	gf.	3452.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	2373.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1614.3
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	2955.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1614.3
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.831
Contenido de Humedad	%	7.77
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.70

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	1304.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	1210.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	1304.00
Peso del Suelo Seco	gf.	1210.00
Peso del Agua	gf.	94.00
Humedad	%	7.77

**T. Christian Gonzalez Cosaco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-816596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos **DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556****PROYECTO** : CONSERVACION VIAL CORACORA**SOLICITA** : CONCAR S.A**UBICACIÓN** : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"**FECHA** : 10-jul-16**DATOS DE LA MUESTRA****CALICATA** : N° - 3**PROFUNDIDAD**: 1.50 m.**PROGRESIVA**: 40+000

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	2550.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	2355.0
Peso de Cono +Arena inicial	gf.	7210.0
Peso de Cono +Arena final	gf.	3550.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	1940.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1319.7
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	2355.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1319.7
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.784
Contenido de Humedad	%	6.12
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.68

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	850.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	801.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	850.00
Peso del Suelo Seco	gf.	801.00
Peso del Agua	gf.	49.00
Humedad	%	6.12


**T. Christian Gonzales Coasco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 181180
 

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shymi\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos**DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556****PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA****SOLICITA : CONCAR S.A****UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"****FECHA : 10-jul-16****DATOS DE LA MUESTRA****CALICATA : N° - 4****PROFUNDIDAD: 1.50 m.****PROGRESIVA: 60+000**

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	1956.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	1761.0
Peso de Cono +Arena inicial	gf.	7150.0
Peso de Cono +Arena final	gf.	3850.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	1580.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1074.8
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	1761.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1074.8
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.638
Contenido de Humedad	%	7.02
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.53

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	762.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	712.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	762.00
Peso del Suelo Seco	gf.	712.00
Peso del Agua	gf.	50.00
Humedad	%	7.02

**T. Christian Gonzalez Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos**DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556****PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA****SOLICITA : CONCAR S.A****UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"****FECHA : 10-jul-16****DATOS DE LA MUESTRA****CALICATA : N° - 5****PROFUNDIDAD: 1.50 m.****PROGRESIVA: 8+000**

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	2110.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	1915.0
Peso de Cono +Arena inicial	gf.	6950.0
Peso de Cono +Arena final	gf.	3659.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	1571.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1068.7
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	1915.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1068.7
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.792
Contenido de Humedad	%	7.58
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.67

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	667.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	620.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	667.00
Peso del Suelo Seco	gf.	620.00
Peso del Agua	gf.	47.00
Humedad	%	7.58

**T. Christian Gonzalez Casco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181168

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shymml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos**DENSIDAD DE CAMPO NORMA ASTM D 1556**

PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA : CONCAR S.A

UBICACIÓN : "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"

FECHA : 10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA : N° - 6

PROFUNDIDAD: 1.50 m.

PROGRESIVA: 100+000

ENSAYO		1
Peso Suelo + Tara	gf.	2120.0
Peso de Grava	gf.	0.0
Peso de Tara	gf.	195.0
Peso Neto Suelo + Grava	gf.	1925.0
Peso de Cono +Arena inicial	gf.	6480.0
Peso de Cono +Arena final	gf.	3025.0
Peso del Cono de Correccion	gf.	1720.0
Peso Neto de la Arena Empleada	gf.	1735.0
Densidad de la Arena	gf./cm <sup>3</sup>	1.470
Volumen del Hoyo	gf.	1180.3
Volumen de Grava	gf.	0.0
Peso del Suelo	gf.	1925.0
Volumen del Suelo	cm <sup>3</sup>	1180.3
Densidad Humeda	gf./cm <sup>3</sup>	1.631
Contenido de Humedad	%	5.50
Densidad Seca	gf./cm <sup>3</sup>	1.55

HUMEDAD DE CAMPO		1
Peso de Capsula	gf.	0.00
Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	863.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	818.00
Peso del Suelo Húmedo	gf.	863.00
Peso del Suelo Seco	gf.	818.00
Peso del Agua	gf.	45.00
Humedad	%	5.50

T. Christian Gonzalez Conzco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 161160

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shymil\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



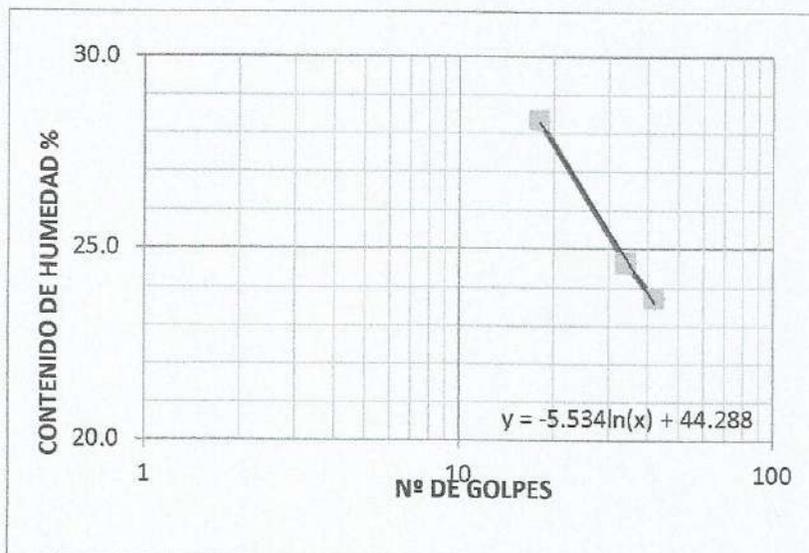
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA
SOLICITA	: CONCAR S.A
UBICACIÓN	: "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"
FECHA	: 10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°1
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA	: 0+000 m

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	29.0	26.2	29.3
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	26.0	24.1	26.6
Peso de la cápsula	( gf )	15.4	15.4	15.4
Peso del suelo seco	( gf )	10.6	8.7	11.3
Peso del agua	( gf )	3.0	2.2	2.7
Contenido de humedad	( % )	28.33	24.63	23.71
Número de golpes	( N )	18	34	42



Límite líquido	26.48%
Límite plástico	22.25%
Índice de plasticidad Ip	4.23%
Ipc	NP



*Handwritten signature*

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	23	25	26	22
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.37	16.6	20.5	20.17
Peso de la cápsula	( gf )	15.98	15.98	15.98	15.98
Peso del suelo seco	( gf )	4.39	0.66	4.52	4.19
Peso del agua	( gf )	2.63	8.36	5.5	1.83
Contenido de humedad	( % )	22.00	21.00	24	22

**J. Christian Gonzalez Casco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181153

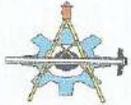
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



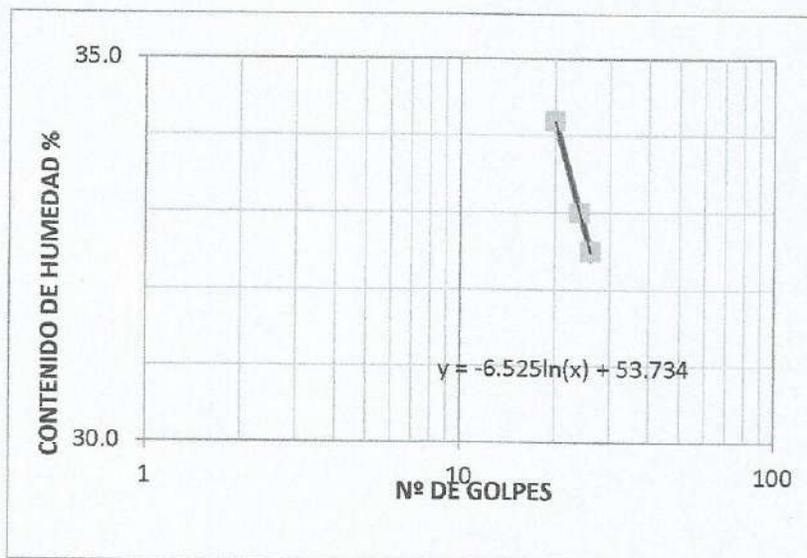
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: "Puquio – Cora Cora- Ayacucho"	FECHA :	10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°2
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA:	20+000 m.

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	30.0	27.2	29.8
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	26.0	24.0	26.0
Peso de la cápsula	( gf )	14.3	14.3	14.3
Peso del suelo seco	( gf )	11.7	9.7	11.7
Peso del agua	( gf )	4.0	3.2	3.8
Contenido de humedad	( % )	34.19	32.99	32.48
Número de golpes	( N )	20	24	26



Límite líquido	33.82%
Límite plástico	19.75%
Índice de plasticidad Ip	13.87%
ipc	NP



*(Handwritten signature)*  
T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	21.35	20.5	21.5	21.2
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.5	17.5	19	21
Peso de la cápsula	( gf )	15.59	15.61	15.44	15.44
Peso del suelo seco	( gf )	4.91	1.89	3.56	5.56
Peso del agua	( gf )	0.85	3	2.5	0.2
Contenido de humedad	( % )	18.00	20.00	19	22

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



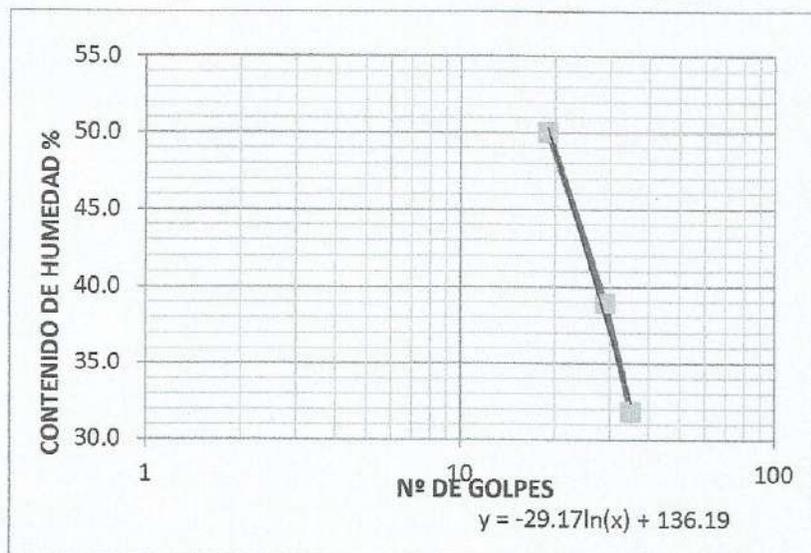
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"		FECHA : 10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°3
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA	: 40+000 m.

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	30.0	27.5	29.5
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	25.0	24.0	26.0
Peso de la cápsula	( gf )	15.0	15.0	15.0
Peso del suelo seco	( gf )	10.0	9.0	11.0
Peso del agua	( gf )	5.0	3.5	3.5
Contenido de humedad	( % )	50.00	38.89	31.82
Número de golpes	( N )	19	29	35



Límite líquido	37.97%
Límite plástico	22.25%
Índice de plasticidad Ip	15.72%
lpc	NP



**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	23	22	19	20
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.5	17.5	19	19
Peso de la cápsula	( gf )	15.59	15.61	15.44	15.44
Peso del suelo seco	( gf )	4.91	1.89	3.56	3.56
Peso del agua	( gf )	2.5	4.5	0	-1
Contenido de humedad	( % )	20.00	19.00	20	30

*[Handwritten signature]*

**T. Christian Gonzalez Coeque**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

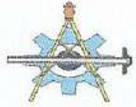
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-818596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



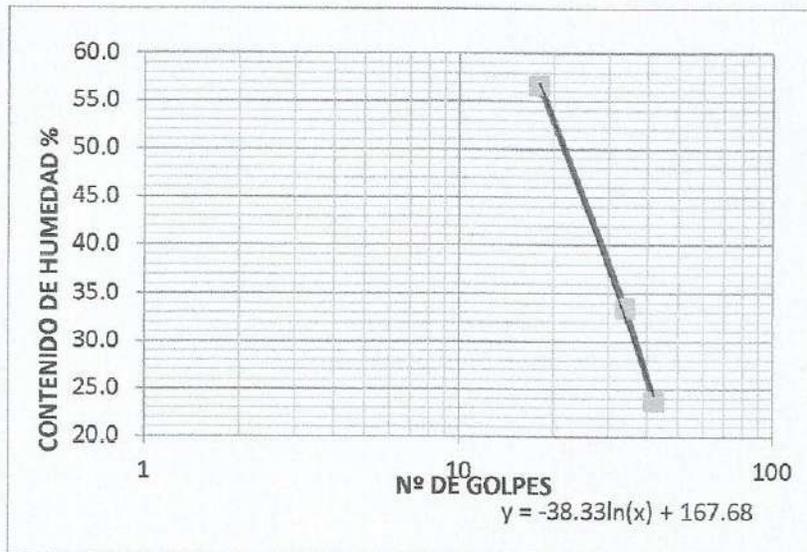
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"	FECHA :	10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°4
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA	: 60+000 m

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	32.0	27.0	29.3
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	26.0	24.1	26.6
Peso de la cápsula	( gf )	15.4	15.4	15.4
Peso del suelo seco	( gf )	10.6	8.7	11.3
Peso del agua	( gf )	6.0	2.9	2.7
Contenido de humedad	( % )	56.66	33.45	23.71
Número de golpes	( N )	18	34	42



Límite líquido	44.30%
Límite plástico	28.00%
Índice de plasticidad Ip	16.30%
ipc	NP



*[Handwritten signature]*

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	23	25	26	22
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.37	16.6	20.5	20
Peso de la cápsula	( gf )	15.98	15.98	15.98	15.98
Peso del suelo seco	( gf )	4.39	0.66	4.52	4.19
Peso del agua	( gf )	2.63	8.36	5.5	1.83
Contenido de humedad	( % )	30.00	35.00	23	24

*[Handwritten signature]*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181150

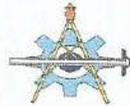
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



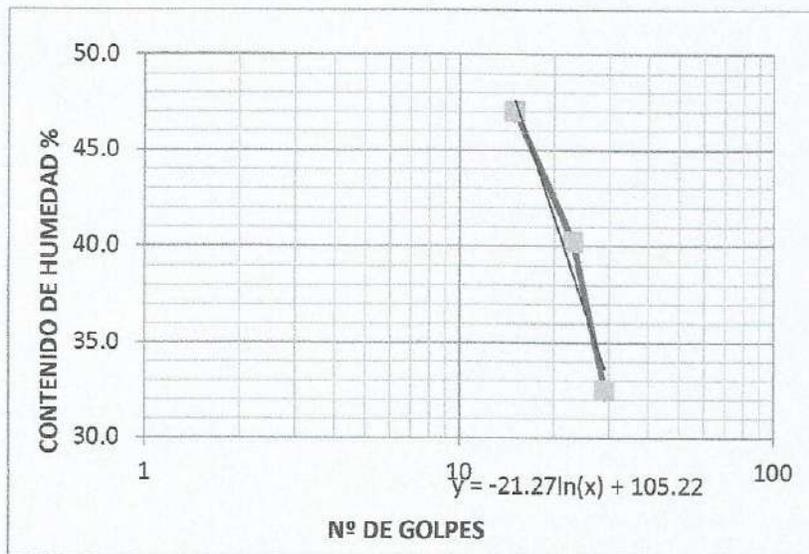
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"	FECHA :	10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°5
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA:	80+000 m.

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	31.5	27.2	29.8
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	26.0	23.5	26.0
Peso de la cápsula	( gf )	14.3	14.3	14.3
Peso del suelo seco	( gf )	11.7	9.2	11.7
Peso del agua	( gf )	5.5	3.7	3.8
Contenido de humedad	( % )	47.01	40.22	32.48
Número de golpes	( N )	15	23	29



Límite líquido	36.75%
Límite plástico	25.50%
Índice de plasticidad Ip	11.25%
Ipc	NP



*Handwritten signature of Christian Gonzales Coacco*

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	21.35	20.5	21.5	21.2
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.5	17.5	19	19
Peso de la cápsula	( gf )	15.59	15.61	15.44	15.44
Peso del suelo seco	( gf )	4.91	1.89	3.56	5.56
Peso del agua	( gf )	0.85	3	2.5	0.2
Contenido de humedad	( % )	29.00	32.00	19	22

**Christian Gonzales Coacco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101180

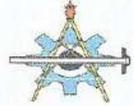
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616586 CEL. 95-9796460 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



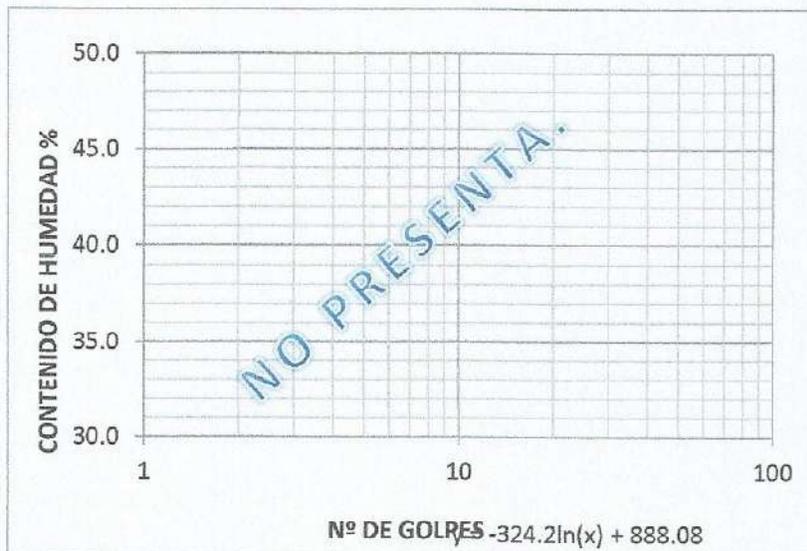
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: "Puquio - Cora Cora- Ayacucho"	FECHA :	10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N°6
PROFUNDIDAD	: 1.50m.
PROGRESIVA:	100+000 m.

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	0.0	23.5	26.0
Peso de la cápsula	( gf )	14.3	0.0	14.3
Peso del suelo seco	( gf )	-14.3	23.5	11.7
Peso del agua	( gf )	0.0	-23.5	-26.0
Contenido de humedad	( % )	0.00	-100.00	-222.22
Número de golpes	( N )	15	23	29



Límite líquido	0.00%
Límite plástico	0.00%
Índice de plasticidad Ip	0.00%
Ipc	NP



**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

Peso del suelo húmedo + cápsula	( gf )	21.35	20.5	21.5	21.44
Peso del suelo seco + cápsula	( gf )	20.5	17.5	19	19.44
Peso de la cápsula	( gf )	15.59	15.61	15.44	15.44
Peso del suelo seco	( gf )	4.91	1.89	3.56	5.56
Peso del agua	( gf )	0.85	3	2.5	0.2
Contenido de humedad	( % )	29.00	32.00	19	22

*[Handwritten Signature]*  
**F. Christian Gonzalez Cosco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.J.P. 161100

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

PROYECTO : "CONSERVACION VIAL CORACORA"  
SOLICITA : CONCAR S.A  
UBICACIÓN : Puquio – Cora Cora- Ayacucho  
FECHA: 10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**  
PROCEDENCIA: Material en CAMPO.  
MUESTRA : BASE EXISTENTE. CALICATA 01 PROGRESIVA 0+000  
OBSERVACION: Material Depositado en el Laboratorio.

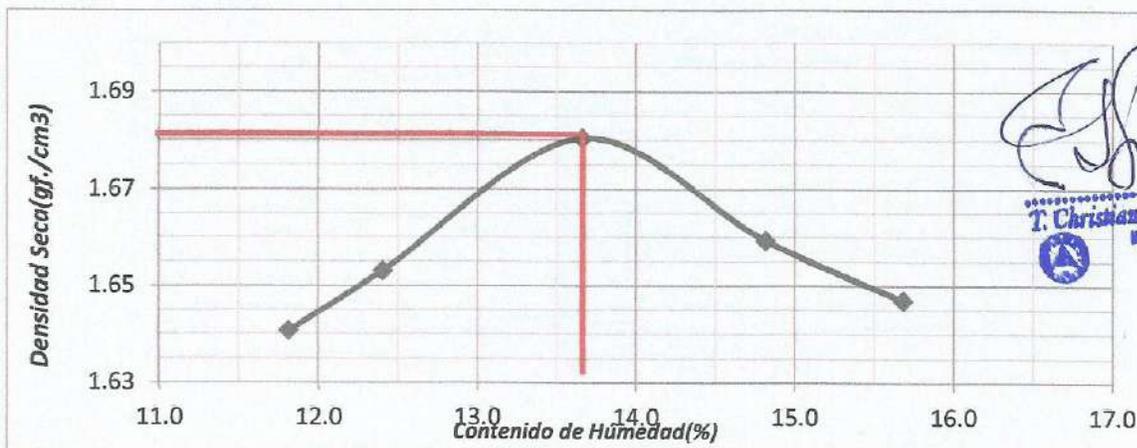
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	10700	10750	10860	10850	10850
Peso del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	3895.0	3945.0	4055.0	4045.0	4045.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	1.835	1.858	1.910	1.905	1.905

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	330.00	323.00	444.00	444.00	325.00	324.00	262.00	265.00	195.00	196.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	295.00	289.00	395.00	395.00	286.00	285.00	228.00	231.00	169.00	169.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	330.00	323.00	444.00	444.00	325.00	324.00	262.00	265.00	195.00	196.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	295.00	289.00	395.00	395.00	286.00	285.00	228.00	231.00	169.00	169.00
6.-Peso del Agua	gf.	35.00	34.00	49.00	49.00	39.00	39.00	34.00	34.00	26.00	27.00
7.-Humedad	%	11.86	11.76	12.41	12.41	13.64	13.68	14.91	14.72	15.38	15.98
Contenido de Humedad	%	11.81		12.41		13.66		14.82			
Densidad Seca	gf/cm <sup>3</sup>	1.641		1.653		1.680		1.659			

Densidad Seca Máxima : 1.680 gf/cm<sup>3</sup>      Humedad 13.66 %



15.68  
1.647  
S.R.L.  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

T. Christian Gonzales Coscco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181160

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-816596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

<b>PROYECTO :</b>	"CONSERVACION VIAL CORACORA"		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA:</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Material en CAMPO.
<b>MUESTRA :</b>	BASE EXISTENTE. CALICATA 02 PROGRESIVA 20+000
<b>OBSERVACION:</b>	Material Depositado en el Laboratorio.

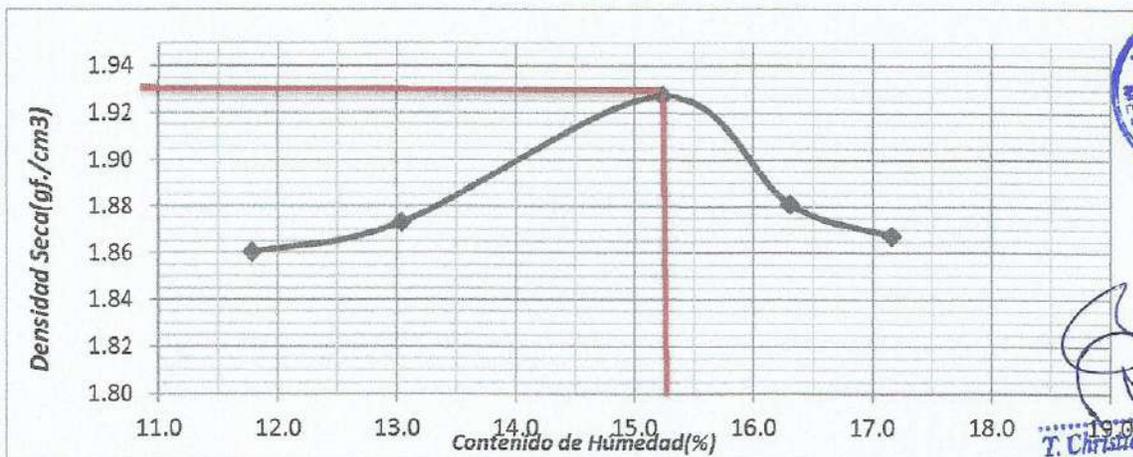
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	11220	11300	11520	11450	11450
Peso del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	4415.0	4495.0	4715.0	4645.0	4645.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	2.079	2.117	2.221	2.188	2.188

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	331.00	333.00	446.00	447.00	329.00	329.00	268.00	267.00	198.00	198.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	296.00	298.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	331.00	333.00	446.00	447.00	329.00	329.00	268.00	267.00	198.00	198.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	296.00	298.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
6.-Peso del Agua	gf.	35.00	35.00	51.00	52.00	43.00	44.00	38.00	37.00	29.00	29.00
7.-Humedad	%	11.82	11.74	12.91	13.16	15.03	15.44	16.52	16.09	17.16	17.16
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>11.78</b>	<b>13.04</b>	<b>15.24</b>	<b>16.30</b>	<b>17.16</b>					
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf./cm<sup>3</sup></b>	<b>1.860</b>	<b>1.873</b>	<b>1.927</b>	<b>1.881</b>	<b>1.867</b>					

Densidad Seca Máxima : 1.927 gf./cm<sup>3</sup>      Humedad 15.24 %



*[Handwritten Signature]*  
T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101160

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

<b>PROYECTO :</b>	"CONSERVACION VIAL CORACORA"		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA:</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Material en CAMPO.
<b>MUESTRA :</b>	BASE EXISTENTE. CALICATA 03 PROGRESIVA 40+000
<b>OBSERVACION:</b>	Material Depositado en el Laboratorio.

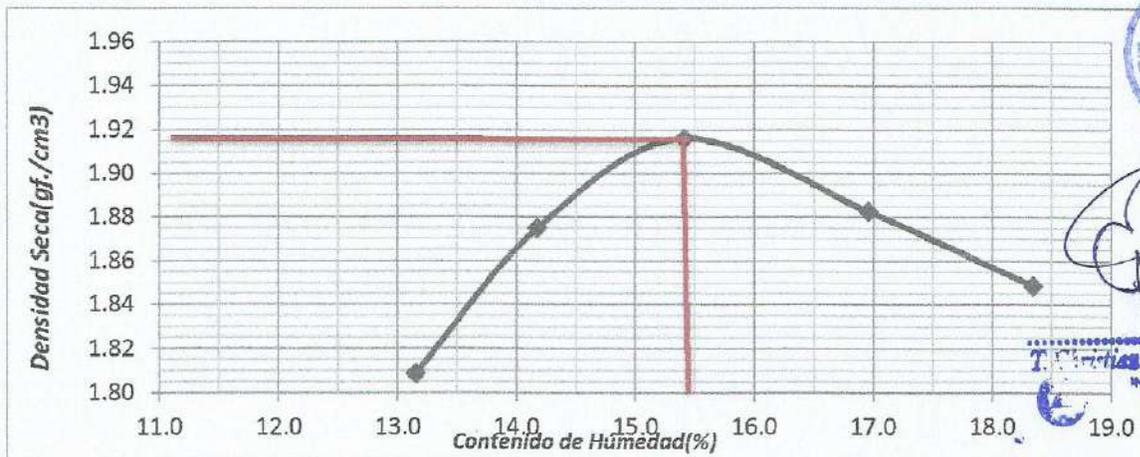
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	11150	11350	11500	11480	11450
Peso del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	4345.0	4545.0	4695.0	4675.0	4645.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	2.047	2.141	2.211	2.202	2.188

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	336.00	335.00	452.00	450.00	329.00	330.00	270.00	268.00	201.00	199.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	296.00	297.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	336.00	335.00	452.00	450.00	329.00	330.00	270.00	268.00	201.00	199.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	296.00	297.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
6.-Peso del Agua	gf.	40.00	38.00	57.00	55.00	43.00	45.00	40.00	38.00	32.00	30.00
7.-Humedad	%	13.51	12.79	14.43	13.92	15.03	15.79	17.39	16.52	18.93	17.75
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>13.15</b>	<b>14.18</b>	<b>15.41</b>	<b>16.96</b>	<b>18.34</b>					
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf./cm<sup>3</sup></b>	<b>1.809</b>	<b>1.875</b>	<b>1.916</b>	<b>1.883</b>	<b>1.849</b>					

Densidad Seca Máxima : 1.916 gf./cm<sup>3</sup>      Humedad 15.41 %



*[Handwritten signature]*

**T. Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181150

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423890 Email. shymi\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

<b>PROYECTO :</b>	<b>"CONSERVACION VIAL CORACORA"</b>		
<b>SOLICITA :</b>	<b>CONCAR S.A</b>		
<b>UBICACIÓN :</b>	<b>Puquio - Cora Cora - Ayacucho</b>	<b>FECHA:</b>	<b>10-jul-16</b>

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>PROCEDENCIA:</b>	Material en CAMPO.
<b>MUESTRA :</b>	BASE EXISTENTE. CALICATA 04 PROGRESIVA 60+000
<b>OBSERVACION:</b>	Material Depositado en el Laboratorio.

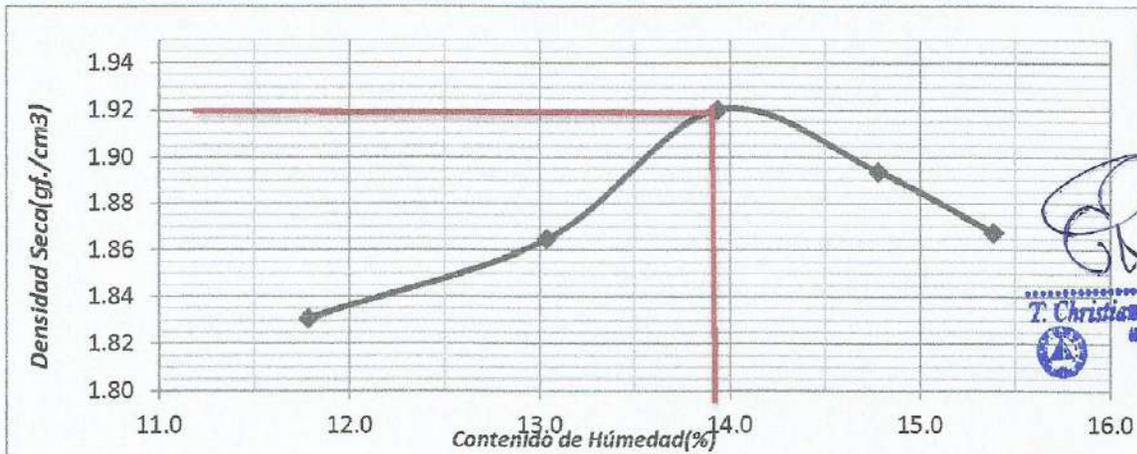
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	11150	11280	11450	11420	11380
Peso del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	4345.0	4475.0	4645.0	4615.0	4575.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	2.047	2.108	2.188	2.174	2.155

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	331.00	333.00	446.00	447.00	325.00	329.00	264.00	264.00	195.00	195.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	296.00	298.00	395.00	395.00	286.00	288.00	230.00	230.00	169.00	169.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	331.00	333.00	446.00	447.00	325.00	329.00	264.00	264.00	195.00	195.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	296.00	298.00	395.00	395.00	286.00	288.00	230.00	230.00	169.00	169.00
6.-Peso del Agua	gf.	35.00	35.00	51.00	52.00	39.00	41.00	34.00	34.00	26.00	26.00
7.-Humedad	%	11.82	11.74	12.91	13.16	13.64	14.24	14.78	14.78	15.38	15.38
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>11.78</b>	<b>13.04</b>	<b>13.94</b>	<b>14.78</b>	<b>15.38</b>					
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.831</b>	<b>1.865</b>	<b>1.920</b>	<b>1.894</b>	<b>1.868</b>					

**Densidad Seca Máxima : 1.920 gf/cm<sup>3</sup>      Humedad 13.94 %**



*[Handwritten signature]*

**T. Christian Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

<b>PROYECTO :</b>	<b>"CONSERVACION VIAL CORACORA"</b>		
<b>SOLICITA :</b>	<b>CONCAR S.A</b>		
<b>UBICACIÓN :</b>	<b>Puquio - Cora Cora- Ayacucho</b>	<b>FECHA:</b>	<b>10-jul-16</b>

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>PROCEDENCIA:</b>	Material en CAMPO.
<b>MUESTRA :</b>	BASE EXISTENTE. CALICATA 05 PROGRESIVA 80+000
<b>OBSERVACION:</b>	Material Depositado en el Laboratorio.

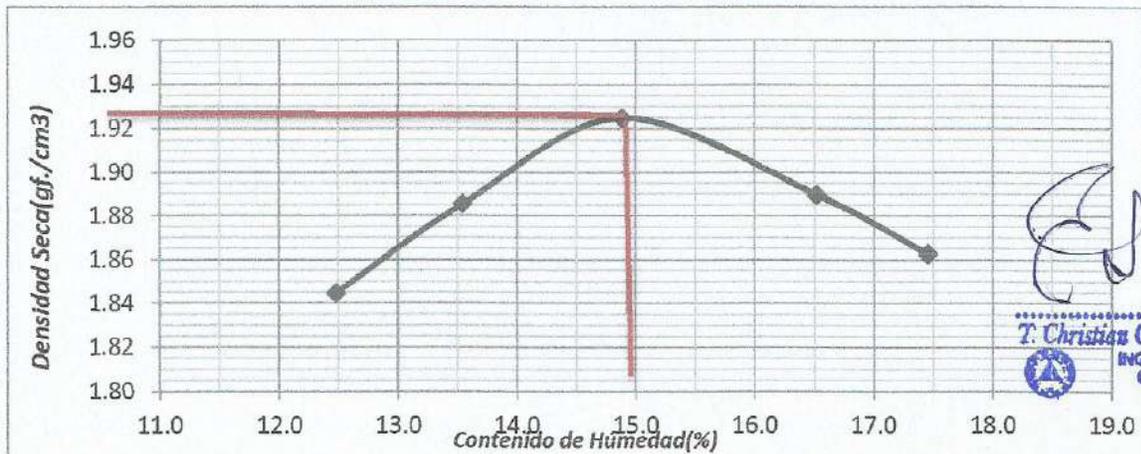
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	11210	11350	11500	11480	11450
Peso del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	4405.0	4545.0	4695.0	4675.0	4645.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf/cm <sup>3</sup>	2.075	2.141	2.211	2.202	2.188

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	334.00	333.00	448.00	449.00	327.00	329.00	268.00	268.00	198.00	199.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	296.00	297.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	334.00	333.00	448.00	449.00	327.00	329.00	268.00	268.00	198.00	199.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	296.00	297.00	395.00	395.00	286.00	285.00	230.00	230.00	169.00	169.00
6.-Peso del Agua	gf.	38.00	36.00	53.00	54.00	41.00	44.00	38.00	38.00	29.00	30.00
7.-Humedad	%	12.84	12.12	13.42	13.67	14.34	15.44	16.52	16.52	17.16	17.75
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>12.48</b>		<b>13.54</b>		<b>14.89</b>		<b>16.52</b>		<b>17.46</b>	
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.845</b>		<b>1.885</b>		<b>1.925</b>		<b>1.890</b>		<b>1.863</b>	

Densidad Seca Máxima : 1.925 gf/cm<sup>3</sup>      Humedad 14.89 %



*[Handwritten signature]*

**T. Christian Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.P. 181160

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO DE COMPACTACION - NORMA ASTM D1557**

<b>PROYECTO :</b>	"CONSERVACION VIAL CORACORA"		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA:</b>	10-jul-16

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>PROCEDENCIA:</b>	Material en CAMPO.
<b>MUESTRA :</b>	BASE EXISTENTE. CALICATA 6 PROGRESIVA 100+000
<b>OBSERVACION:</b>	Material Depositado en el Laboratorio.

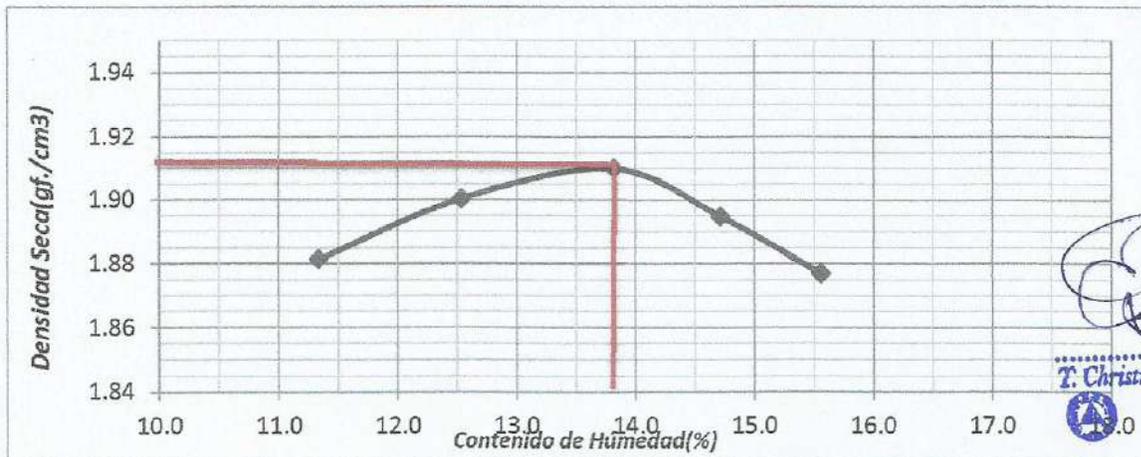
TIPO	C
PESO MARTILLO Kgf.	4.54
N° DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6805.0 gf.
DIMENSIONES	DIAM. 15.24 cm. ALTURA 11.639 cm.
VOLUMEN DEL MOLDE	2123.1 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	gf.	11252	11345	11420	11420	11410
Peso del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	4447.0	4540.0	4615.0	4615.0	4605.0
Densidad del Suelo Húmedo	gf./cm <sup>3</sup>	2.095	2.138	2.174	2.174	2.169

HUMEDAD	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Peso de Capsula	gf.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.-Peso de Capsula + Suelo Húmedo	gf.	326.00	332.00	445.00	444.00	329.00	330.00	270.00	268.00	202.00	199.00
3.-Peso del Suelo Seco + Capsula	gf.	294.00	297.00	395.00	395.00	289.00	290.00	235.00	234.00	174.00	173.00
4.-Peso del Suelo Húmedo	gf.	326.00	332.00	445.00	444.00	329.00	330.00	270.00	268.00	202.00	199.00
5.-Peso del Suelo Seco	gf.	294.00	297.00	395.00	395.00	289.00	290.00	235.00	234.00	174.00	173.00
6.-Peso del Agua	gf.	32.00	35.00	50.00	49.00	40.00	40.00	35.00	34.00	28.00	26.00
7.-Humedad	%	10.88	11.78	12.66	12.41	13.84	13.79	14.89	14.53	16.09	15.03
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>11.33</b>		<b>12.53</b>		<b>13.82</b>		<b>14.71</b>		<b>15.56</b>	
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf./cm<sup>3</sup></b>	<b>1.881</b>		<b>1.900</b>		<b>1.910</b>		<b>1.895</b>		<b>1.877</b>	

Densidad Seca Máxima : 1.910 gf/cm<sup>3</sup>      Humedad 13.82 %



*[Handwritten Signature]*

T. Christian Gonzales Ccoaxo  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P.R. 101180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

<b>PROYECTO :</b>	CONSERVACION VIAL CORACORA		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio – Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA :</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Calicata -01
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.50 m.
<b>PROGRESIVA:</b>	0.000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

Contenido de Humedad		12	25	56
Peso muestra compactada + molde	gf	12320.0	12510.0	12650.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	3660.0	3850.0	3990.0
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>gf/cm3</b>	<b>1.79</b>	<b>1.86</b>	<b>1.93</b>
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>11.00</b>	<b>13.00</b>	<b>14.00</b>
<b>Densidad Seca</b>	<b>gf/cm3</b>	<b>1.61</b>	<b>1.65</b>	<b>1.69</b>

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000



**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	14.7	25.7	44.1
0.0500	33.1	47.8	88.2
0.0750	73.5	114.6	176.4
0.1000	161.7	220.5	352.7
0.1500	183.7	264.6	400.1
0.2000	235.2	352.7	455.6
0.3000	352.7	477.7	595.2

*[Handwritten Signature]*  
**T. Christiana Gonzales Casco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 101150

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-618596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA : CONCAR S.A

UBICACIÓN : Puquio - Cora Cora- Ayacucho

FECHA : 10-jul-16

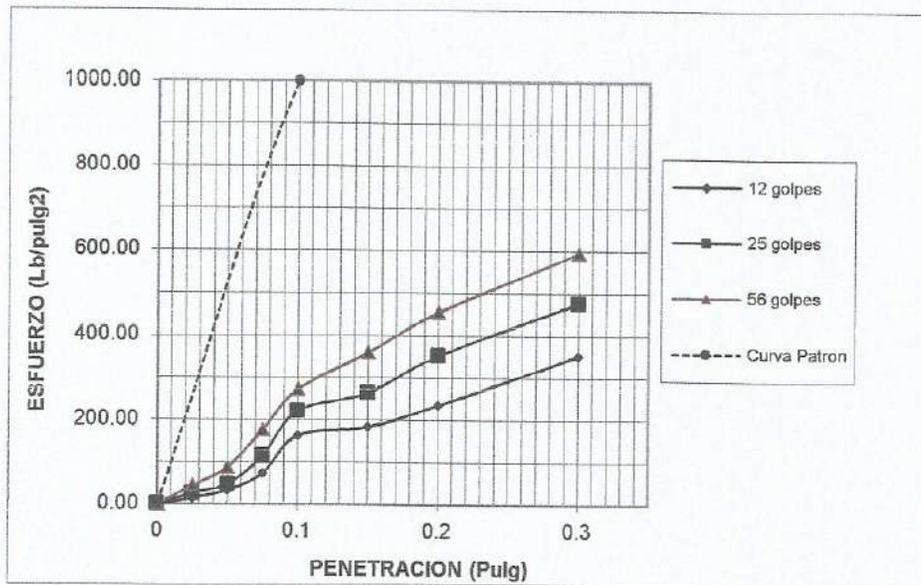
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA: Calicata -01

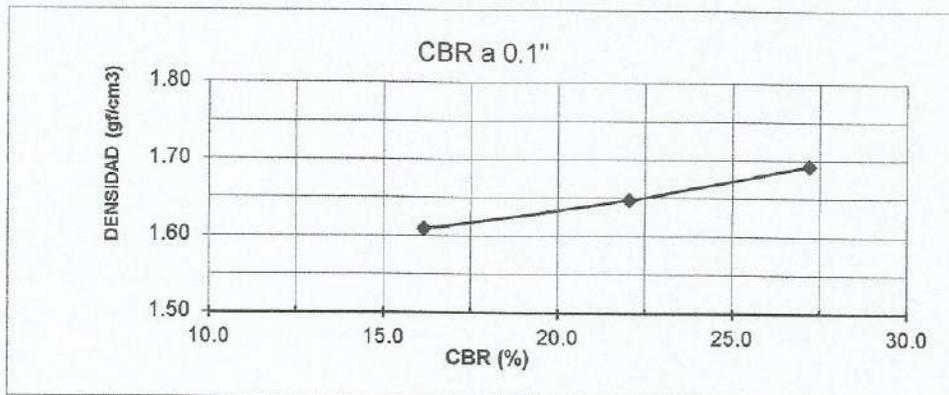
PROFUNDIDAD: 1.50 m.

PROGRESIVA: 0.000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*(Handwritten signature)*

**T. Christian Gonzales Coosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.L.P. 181150

**Datos del Proctor**

Densidad maxima seca 1.68 gf/cm3  
humedad optima 13.66 %

**Datos del CBR**

100% de la Densidad Seca Maxima: 1.68 gf/cm3  
CBR para el 100 %: 26.50 %  
95% de la Densidad Seca Maxima: 1.63 gf/cm3  
CBR para el 95 %: 20.00 %

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

<b>PROYECTO :</b>	CONSERVACION VIAL CORACORA		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA :</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Calicata -02
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.50 m.
<b>PROGRESIVA:</b>	20+000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

		12	25	56
<b>Contenido de Humedad</b>				
Peso muestra compactada + molde	gf	12720.0	13050.0	13280.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	4060.0	4390.0	4620.0
<b>Densidad Húmeda</b>	gf/cm3	1.98	2.12	2.23
<b>Contenido de Humedad</b>	%	14.20	14.50	15.00
<b>Densidad Seca</b>	gf/cm3	1.73	1.85	1.94

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000



**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	25.7	40.4	58.1
0.0500	33.1	62.5	88.2
0.0750	80.8	117.6	183.7
0.1000	161.7	220.5	285.6
0.1500	183.7	264.6	360.1
0.2000	242.5	352.7	455.6
0.3000	352.7	485.0	595.2

*[Handwritten Signature]*  
**T. Carsten Gonzales Coasco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 181168

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-816596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



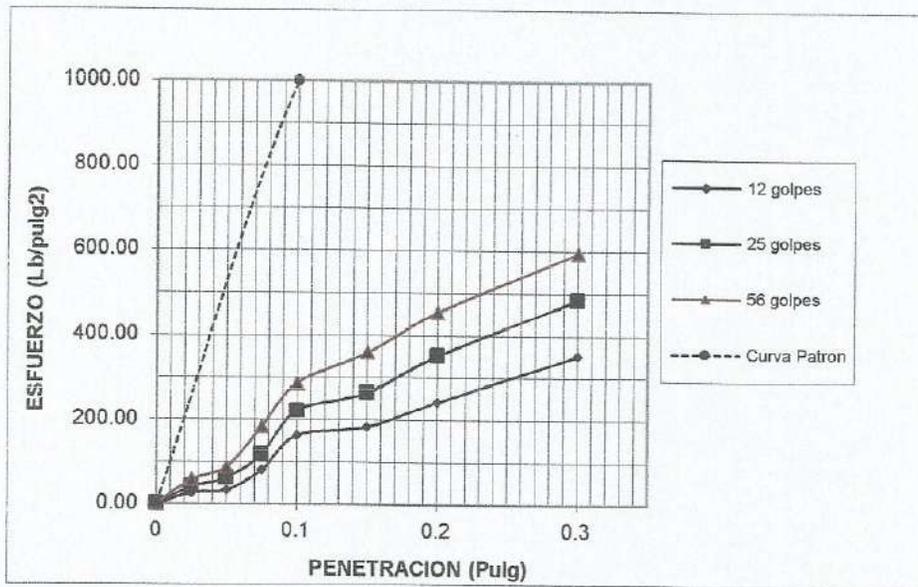
**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO :	CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA :	CONCAR S.A		
UBICACIÓN :	Puquio – Cora Cora- Ayacucho	FECHA :	10-jul-16

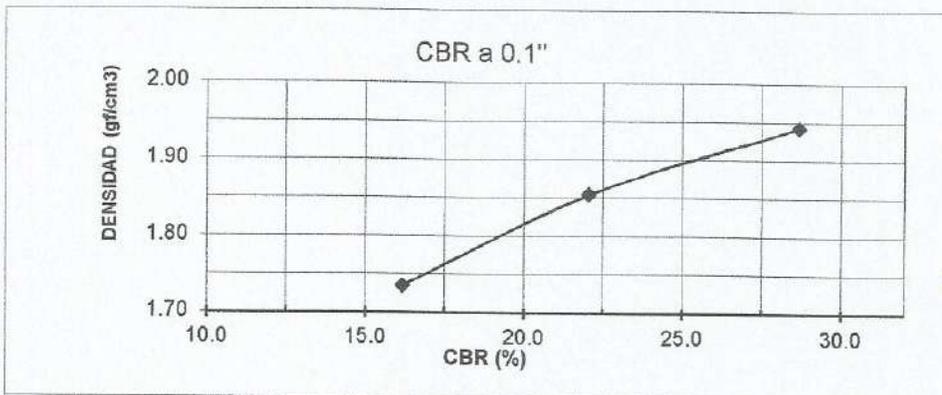
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA:	Calicata -02
PROFUNDIDAD:	1.50 m.
PROGRESIVA:	20+000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*Handwritten signature of T. Christian Gonzales Coaseco*

**T. Christian Gonzales Coaseco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181150

**Datos del Proctor**

Densidad maxima seca	1.927	gflcm3
humedad optima	15.24	%

**Datos del CBR**

100% de la Densidad Seca Maxima:	1.93 gflcm3
CBR para el 100 %:	27.00 %
95 % de la Densidad Seca Maxima:	1.83 gflcm3
CBR para el 95 %:	17.00 %

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-618596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

<b>PROYECTO :</b>	CONSERVACION VIAL CORACORA		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA :</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Calicata -03
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.50 m.
<b>PROGRESIVA:</b>	40+000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

		12	25	56
<b>Contenido de Humedad</b>				
Peso muestra compactada + molde	gf	12705.0	13120.0	13280.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	4045.0	4460.0	4620.0
<b>Densidad Húmeda</b>	gf/cm3	1.97	2.16	2.23
<b>Contenido de Humedad</b>	%	15.00	15.50	16.00
<b>Densidad Seca</b>	gf/cm3	1.72	1.87	1.93

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000



**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	24.3	36.7	50.7
0.0500	29.4	66.1	88.2
0.0750	69.8	121.3	183.7
0.1000	154.3	220.5	314.8
0.1500	191.1	253.5	463.0
0.2000	249.9	341.7	483.0
0.3000	345.4	485.0	595.2

*[Handwritten signature]*  
T. Christian Gonzalez Coarico  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181189

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA : CONCAR S.A

UBICACIÓN : Puquio - Cora Cora- Ayacucho

FECHA : 10-jul-16

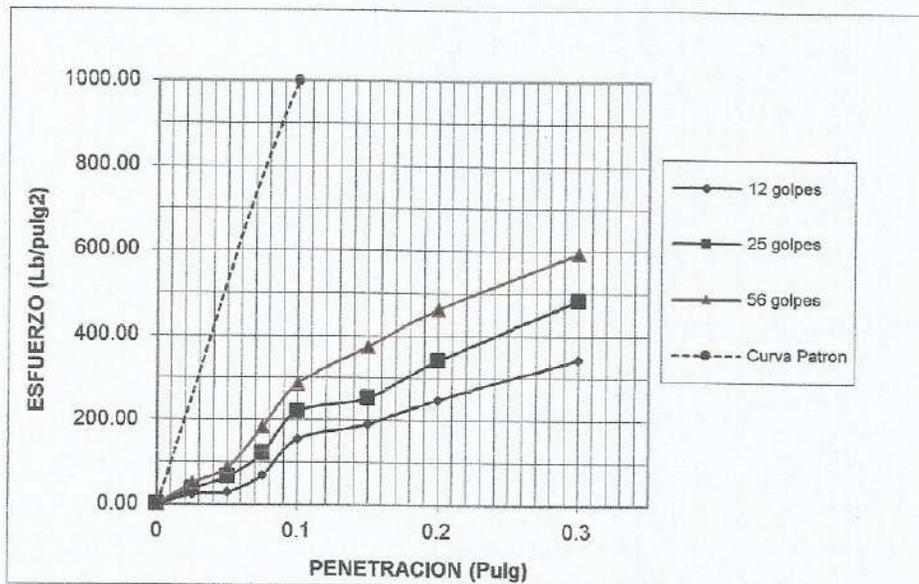
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA: Calicata -03

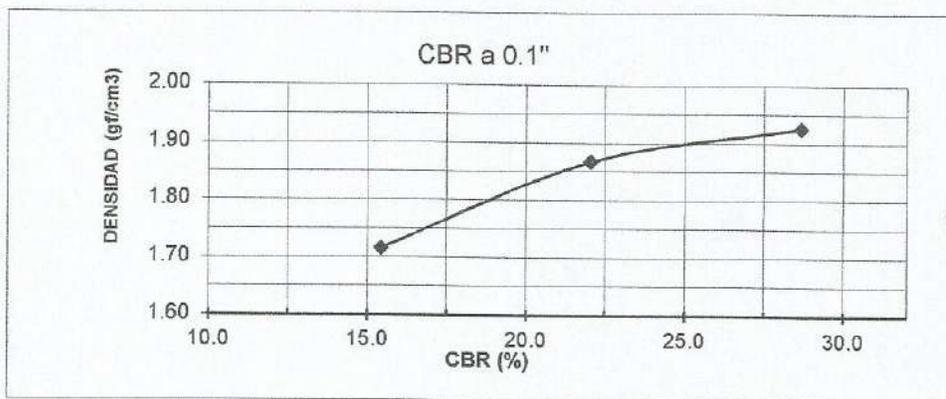
PROFUNDIDAD: 1.50 m.

PROGRESIVA: 40+000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*T. Christian Gonzalez Cosco*  
INGENIERO CIVIL  
CLP. 161180

**Datos del Proctor**

Densidad maxima seca 1.916 gf/cm<sup>3</sup>  
humedad optima 15.41 %

**Datos del CBR**

100% de la Densidad Seca Maxima: 1.92 gf/cm<sup>3</sup>  
CBR para el 100 %: 28.00 %  
95 % de la Densidad Seca Maxima: 1.82 gf/cm<sup>3</sup>  
CBR para el 95 %: 23.00 %

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-618596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shymil\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

<b>PROYECTO :</b>	CONSERVACION VIAL CORACORA		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA :</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Calicata -04
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.50 m.
<b>PROGRESIVA:</b>	60+000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

Contenido de Humedad		12	25	56
Peso muestra compactada + molde	gf	12699.0	12985.0	13278.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	4039.0	4325.0	4618.0
Densidad Húmeda	gf/cm3	1.97	2.09	2.23
Contenido de Humedad	%	14.20	14.60	15.00
Densidad Seca	gf/cm3	1.73	1.82	1.94

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000



**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	24.3	36.7	50.7
0.0500	29.4	66.1	88.2
0.0750	69.8	121.3	183.7
0.1000	154.3	213.1	312.3
0.1500	191.1	253.5	373.3
0.2000	249.9	341.7	463.0
0.3000	345.4	485.0	595.2

*[Handwritten Signature]*  
**Pedro Gonzales Casco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 181160

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20496405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



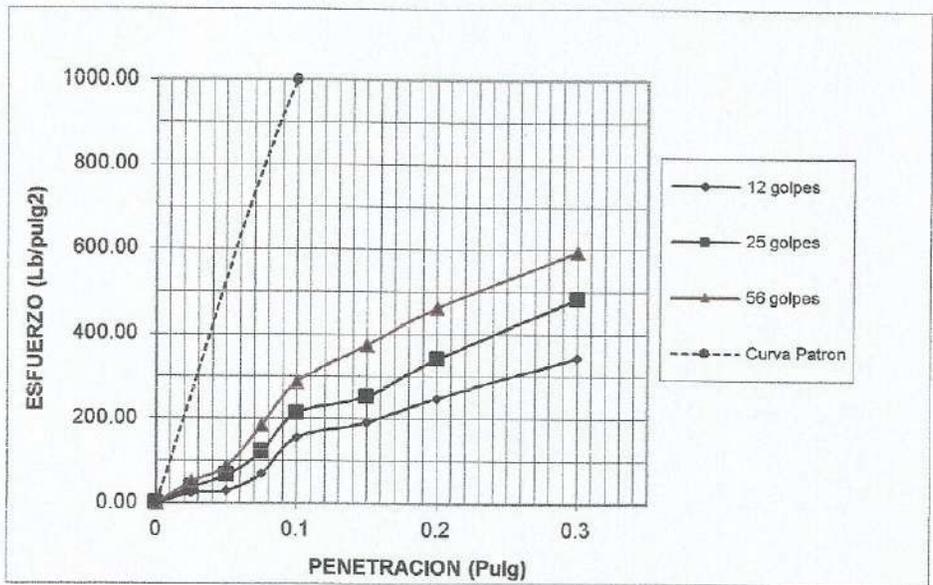
**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA
SOLICITA	: CONCAR S.A
UBICACIÓN	: Puquio - Cora Cora- Ayacucho
FECHA	: 10-jul-16

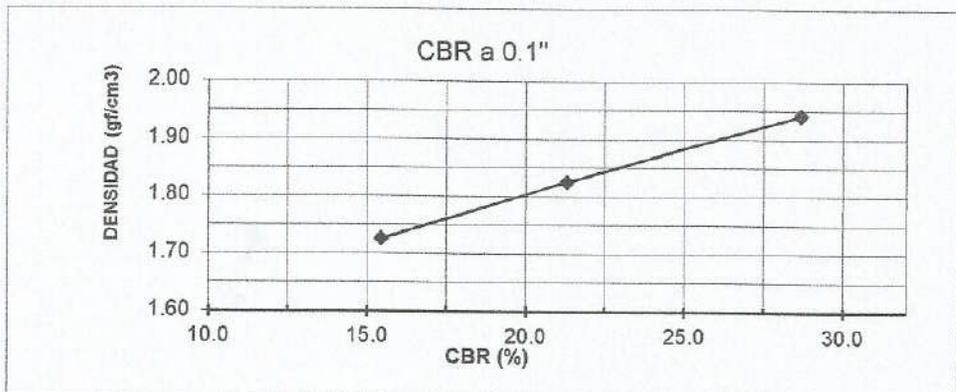
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA:	Calicata -04
PROFUNDIDAD:	1.50 m.
PROGRESIVA:	60+000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*T. Christian Gonzales Cosco*

**T. Christian Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.R.P. 101150

Datos del Proctor		Datos del CBR	
Densidad maxima seca	1.92	100% de la Densidad Seca Maxima:	1.92 gf/cm3
humedad optima	13.94 %	CBR para el 100 %:	27.00 %
		95 % de la Densidad Seca Maxima:	1.82 gf/cm3
		CBR para el 95 %:	22.00 %

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO :	CONSERVACION VIAL CORACORA		
SOLICITA :	CONCAR S.A		
UBICACIÓN :	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	FECHA :	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA:	Calicata -05
PROFUNDIDAD:	1.50 m.
PROGRESIVA:	80+000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

		12	25	56
Contenido de Humedad				
Peso muestra compactada + molde	gf	12580.0	12910.0	13250.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	3920.0	4250.0	4590.0
Densidad Húmeda	gf/cm3	1.91	2.05	2.22
Contenido de Humedad	%	14.10	14.23	15.00
Densidad Seca	gf/cm3	1.68	1.80	1.93

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	24.3	36.7	50.7
0.0500	30.9	66.1	88.2
0.0750	72.0	121.3	183.7
0.1000	147.0	220.5	333.0
0.1500	191.1	253.5	374.8
0.2000	249.9	330.7	463.0
0.3000	345.4	485.0	595.2



*[Handwritten Signature]*  
**T. Chirinos Gonzalez Cosco**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 101180

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingenieria de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO : CONSERVACION VIAL CORACORA

SOLICITA : CONCAR S.A

UBICACIÓN : Puquio - Cora Cora- Ayacucho

FECHA : 10-jul-16

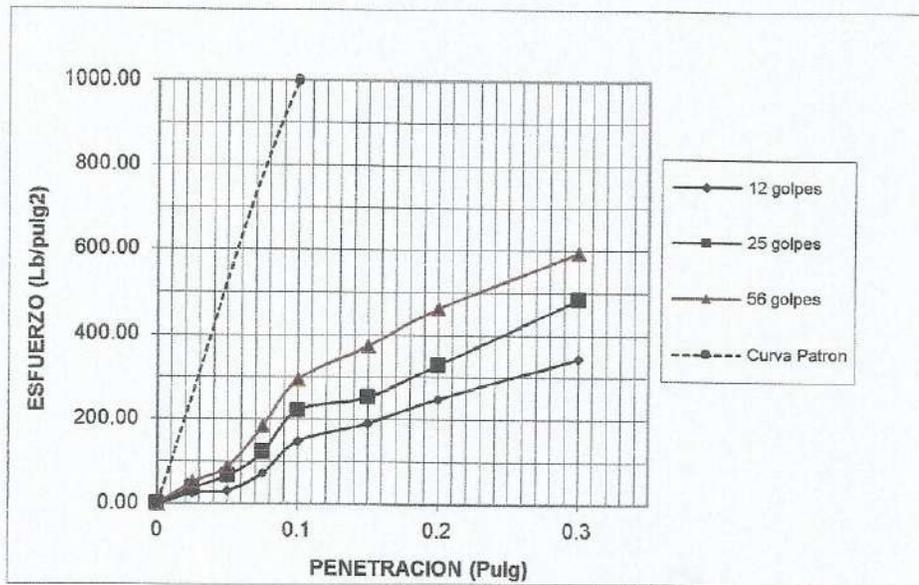
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA: Calicata -05

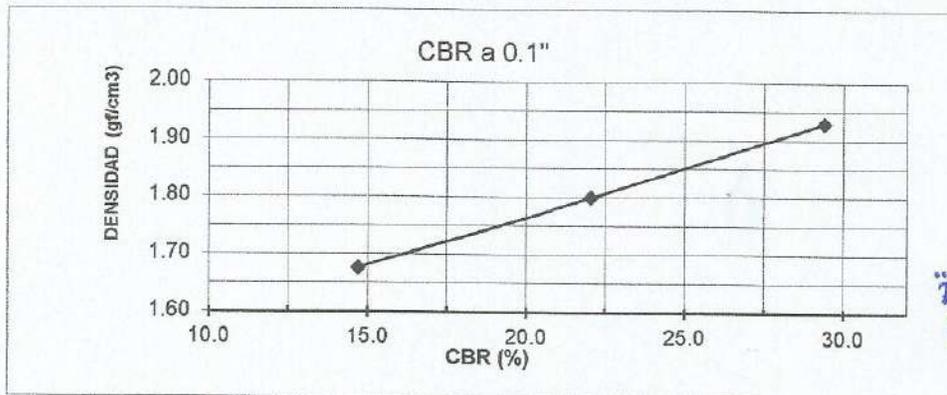
PROFUNDIDAD: 1.50 m.

PROGRESIVA: 80+000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*Handwritten signature of T. Christian Gonzalez Casado*

T. Christian Gonzalez Casado  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

**Datos del Proctor**

Densidad maxima seca 1.925 gf/cm<sup>3</sup>  
humedad optima 14.89 %

**Datos del CBR**

100% de la Densidad Seca Maxima: 1.93 gf/cm<sup>3</sup>  
CBR para el 100 %: 29.00 %  
95% de la Densidad Seca Maxima: 1.82 gf/cm<sup>3</sup>  
CBR para el 95 %: 23.00 %

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-816596 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shyml\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

<b>PROYECTO :</b>	CONSERVACION VIAL CORACORA		
<b>SOLICITA :</b>	CONCAR S.A		
<b>UBICACIÓN :</b>	Puquio - Cora Cora- Ayacucho	<b>FECHA :</b>	10-jul-16

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>PROCEDENCIA:</b>	Calicata -06
<b>PROFUNDIDAD:</b>	1.50 m.
<b>PROGRESIVA:</b>	100+000 m

**ENSAYO DE COMPACTACION**

		12	25	56
<b>Contenido de Humedad</b>				
Peso muestra compactada + molde	gf	12560.0	12900.0	13210.0
Peso de molde	gf	8660.0	8660.0	8660.0
Volumen de molde	cm3	2049.9	2068.3	2068.3
Peso muestra compactada	gf	3900.0	4240.0	4550.0
<b>Densidad Húmeda</b>	gf/cm3	1.90	2.05	2.20
<b>Contenido de Humedad</b>	%	12.20	12.90	13.82
<b>Densidad Seca</b>	gf/cm3	1.70	1.82	1.93

**EXPANSION**

TIEMPO (hr:min)	12	25	56
	EXPANSION		
	(mm)	(mm)	(mm)
00:01	0.000	0.000	0.000
01:00	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000
04:00	NO EXPANSIVO		
24:00	0.000	0.000	0.000
48:00	0.000	0.000	0.000
72:00	0.000	0.000	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION (pulg)	12	25	56
	Esfuerzo		
	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)	(lb/pulg 2)
0.0250	26.5	36.7	50.7
0.0500	35.3	66.1	88.2
0.0750	73.5	121.3	169.7
0.1000	143.3	216.8	293.9
0.1500	191.1	253.5	342.8
0.2000	249.9	330.7	463.0
0.3000	345.4	485.0	595.2



*[Handwritten signature]*  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.P. 101180**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

CALLE CORBACHO 116 - Dpto. 1 - AREQUIPA

TELEFONO 054-616598 CEL. 95-9796480 RPM # 947423896 Email. shym\_l\_srl@hotmail.com R.U.C. 20498405275

PARTIDA REGISTRAL N° 11017842

**SH & ML S.R.L.**  
Arquitectura e  
Ingeniería de Proyectos



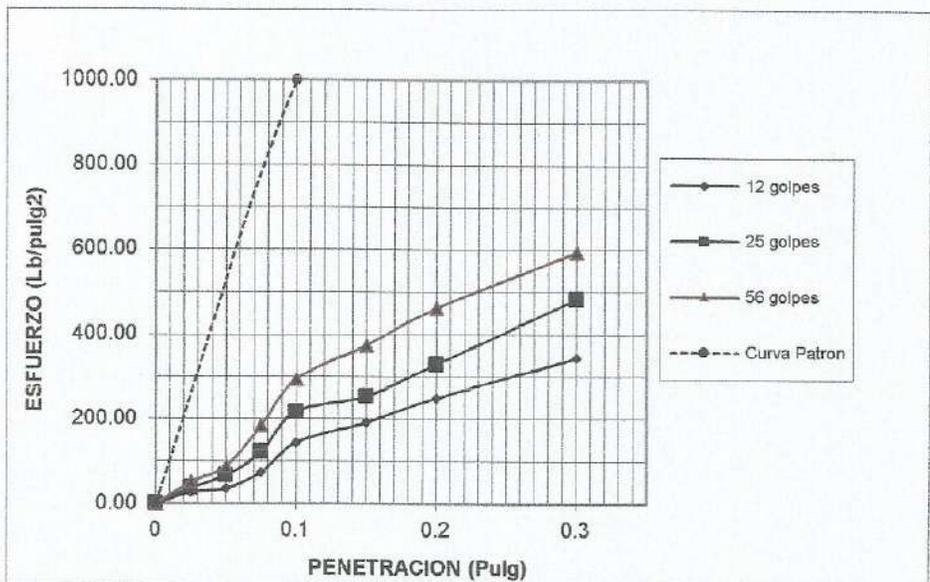
**ENSAYO CBR ASTM D 1883**

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL CORACORA	FECHA	: 10-jul-16
SOLICITA	: CONCAR S.A		
UBICACIÓN	: Puquio - Cora Cora- Ayacucho		

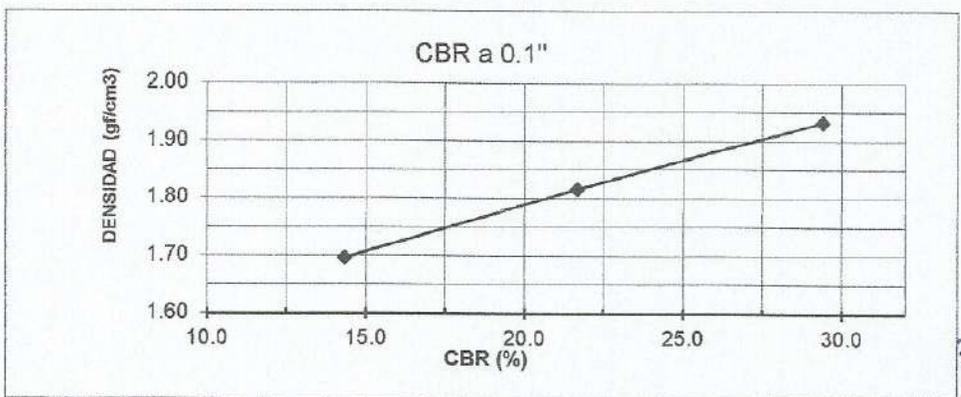
**DATOS DE LA MUESTRA**

PROCEDENCIA:	Calicata -06
PROFUNDIDAD:	1.50 m.
PROGRESIVA:	100+000 m

**GRAFICO DE CBR POR GOLPES**



**GRAFICO CBR - DENSIDAD**



*Handwritten signature of T. Christian Gonzalez Casaco*

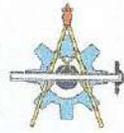
T. Christian Gonzalez Casaco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

**Datos del Proctor**

Densidad maxima seca	1.91	gf/cm <sup>3</sup>
humedad optima	13.82	%

**Datos del CBR**

100% de la Densidad Seca Maxima:	1.91	gf/cm <sup>3</sup>
CBR para el 100 %:	28.00	%
95% de la Densidad Seca Maxima:	1.81	gf/cm <sup>3</sup>
CBR para el 95 %:	22.00	%



## Panel Fotográfico.

.....  
**T. Christian Gonzales Casco**  
INGENIERO CIVIL  
C.L.P. 191180



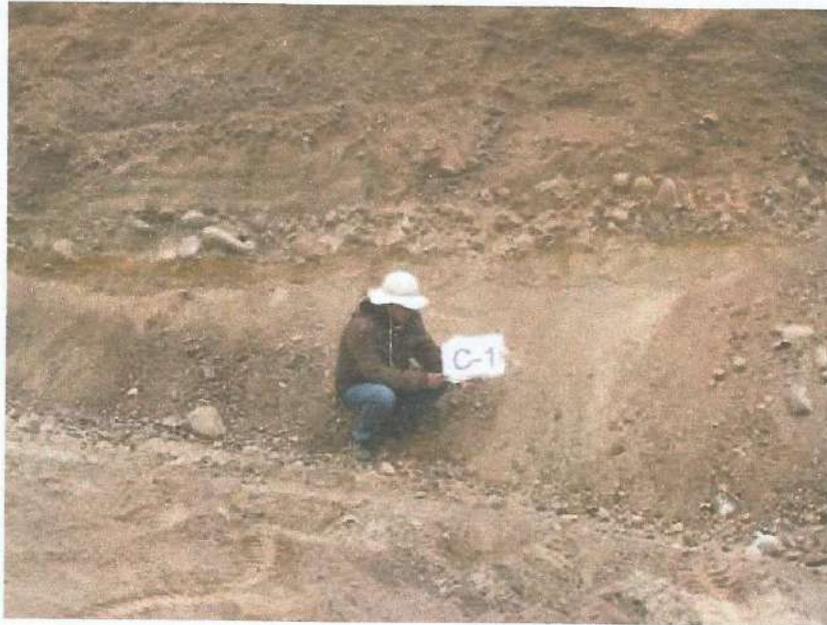


Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 0+000

**CONSERVACION VIAL CORACORA**



T. Christian Gonzalez Coscoo  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181460

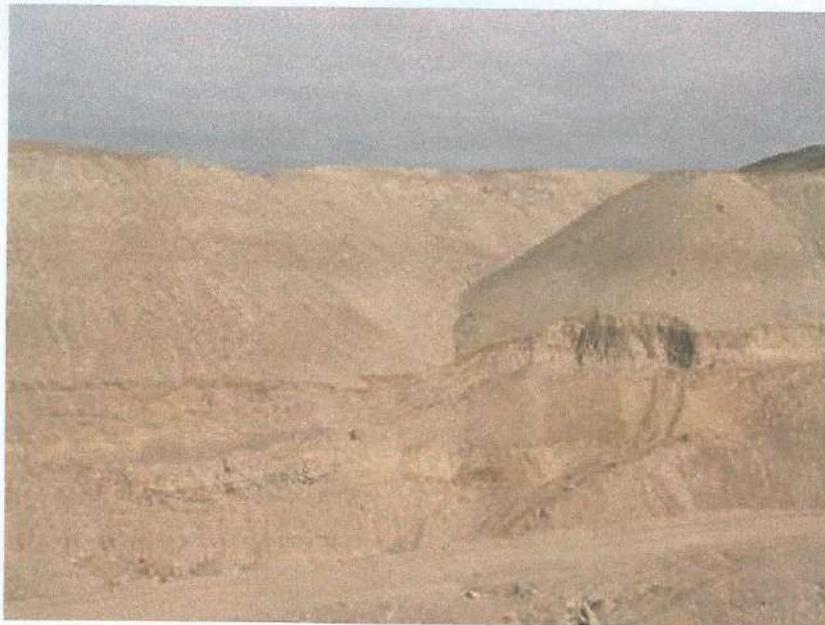
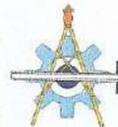


Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 20+000

**CONSERVACION VIAL CORACORA**



  
**T. Christian Gonzales Cordero**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181160

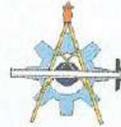


Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 40+000

**CONSERVACION VIAL CORACORA**



T. Christian Gonzales Cosco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180

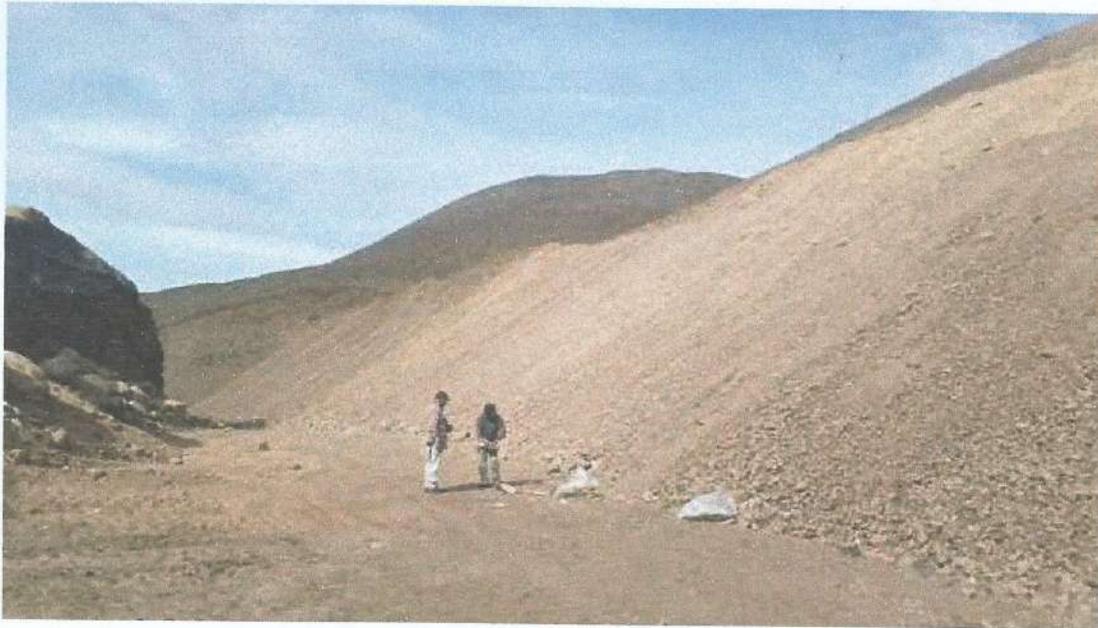


Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 60+000

### CONSERVACION VIAL CORACORA

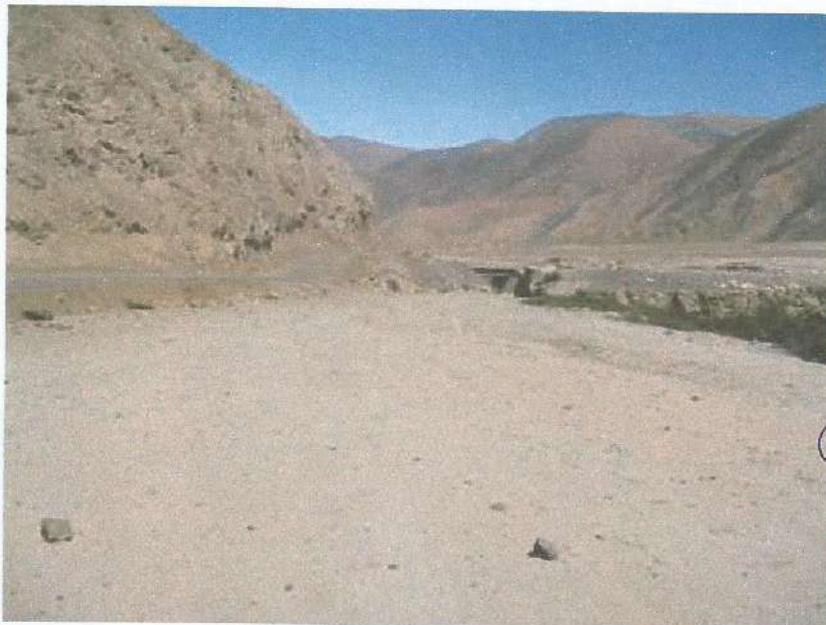


**E. Christian Gonzales Cosco**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180



Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 80+000

### CONSERVACION VIAL CORACORA



  
T. Christian Gonzales Causco  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 101150

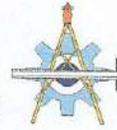


Foto: Detalle de corte y muestreo de las Progresivas: 100+000

**CONSERVACION VIAL CORACORA**



T. Christian Gonzales Coarasa  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 181180