

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**“ESTABILIZACION QUIMICA DE CARRETERAS  
NO PAVIMENTADAS EN EL PERU Y VENTAJAS  
COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO  
(BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE  
CALCIO”**



**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL  
PRESENTADO POR: CARLOS ALBERTO GUTIÉRREZ MONTES**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

**DEDICATORIA:***Gracias por su apoyo, tiempo y dedicación (Familia,  
Profesores y Amigos).*

# INDICE

## Contenido

INDICE.....	3
INTRODUCCION.....	7
Capítulo I.....	8
ASPECTOS GENERALES.....	8
1.1.    SUELOS.....	8
1.1.1.    Definición.....	8
1.1.2.    Clasificación de los Suelos.....	8
1.1.3.    Mejoramiento de Suelos.....	9
1.1.4.    Métodos Físicos.....	10
1.1.5.    Métodos Químicos.....	11
1.1.6.    Métodos Mecánicos.....	13
1.2.    CAMINOS.....	14
1.2.1.    Importancia Histórica de Los Caminos.....	15
1.2.2.    Los Caminos en la Historia del Perú.....	16
1.3.    PAVIMENTO.....	17
1.3.1.    Definición.....	17
1.3.2.    Tipos de Pavimentos.....	17
Capítulo II.....	20
CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.....	20
2.1.    CARRETERAS.....	20
2.1.1.    Definición.....	20
2.1.2.    Clasificación de las Carreteras.....	24
2.2.    SISTEMA VIAL PERUANO.....	28
2.2.1.    Carreteras no Pavimentadas en el Perú.....	30
2.2.2.    Obras Ejecutadas en Carreteras No Pavimentadas.....	31
Capítulo III.....	35
ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.....	35
3.1.    ESTABILIZACION DE SUELOS.....	35

3.2.	CANTERAS Y MATERIALES PARA CONSTRUIR EL AFIRMADO .....	36
3.2.1.	Materiales para Afirmado.....	36
3.2.2.	Fuente de Materiales - Canteras .....	36
3.3.	ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.....	38
3.4.	ESTABILIZACIÓN QUÍMICA.....	39
3.4.1.	Cemento.....	41
3.4.2.	Material bituminoso.....	43
3.4.3.	Productos químicos .....	44
3.4.4.	Estabilización de Carreteras con Cloruro de Sodio .....	45
Capítulo IV	.....	50
	<b>ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS CON CLORURO DE CALCIO .....</b>	<b>50</b>
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA CAL .....	50
4.2.	PROPIEDADES DEL CLORURO DE CALCIO.....	51
4.3.	APLICACIONES DE LA CAL.....	52
4.4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTOS CON .....	
	CAL .....	54
4.5.	MEJORAS EN EL SUELO ESTABILIZADO CON CAL.....	56
4.6.	POLÍTICAS DE USO DE LA CAL.....	58
4.7.	PRODUCCION DE CLORURO DE CALCIO EN EL PERU (QUIM KD40)..	61
4.7.1.	Usos .....	61
4.7.2.	Dosis .....	61
4.7.3.	Gradación del Suelo.....	62
4.7.4.	Tipo de Servicio .....	62
4.7.5.	Beneficios .....	62
4.7.6.	Maquinarias Requeridas para la Aplicación del QUIM KD-40 .....	63
4.7.7.	Procedimiento.....	63
4.7.8.	Mantenimiento.....	63
Capitulo V	.....	65
	<b>ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS CON CLORURO DE MAGNESIO</b>	
	<b>HEXAHIDRATADO (BISCHOFITA) .....</b>	<b>65</b>
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LA BISCHOFITA.....	65
5.2.	PROPIEDADES DE LA BISCHOFITA.....	66
5.3.	APLICACIONES DE LA BISCHOFITA .....	67

5.4.	PROPIEDADES DE LOS SUELOS TRATADOS CON BISCHOFITA.....	68
5.5.	POLÍTICAS DE USO DE LA BISCHOFITA .....	69
5.6.	CASOS DE ESTABILIZACION CON BISCHOFITA EN EL PERU.....	72
Capítulo VI.....		75
	METODOLOGÍA.....	75
6.1.	CONSIDERACIONES GENERALES.....	75
6.2.	PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA....	76
6.2.1.	Costos Antes de Aplicar el Agente Estabilizador.....	76
6.2.2.	Costos Después de Aplicar el Agente Estabilizador .....	77
6.3.	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS VENTAJAS TÉCNICAS ...	77
6.3.1.	Capacidad de soporte.....	78
6.3.2.	Trabajabilidad.....	78
6.3.3.	Estabilidad bajo agua.....	79
6.3.4.	Comportamiento ante ciclos hielo-deshielo .....	79
6.3.5.	Comportamiento ante cambios de humedad.....	79
6.4.	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL ....	80
Capítulo VII.....		82
	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS .....	82
7.1.	CONSIDERACIONES .....	82
<b>Dimensiones:</b> .....		84
7.2.	COSTOS DE ESTABILIZACION.....	84
<b>Tabla 4.</b> Costos de estabilización con Cloruro de Calcio .....		96
7.3.	MANTENIMIENTO PERIODICO .....	99
7.4.	COSTO DE ESTABILIZACION EN EL TIEMPO.....	99
Capítulo VIII .....		115
	VENTAJAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS.....	115
8.1.	TRABAJABILIDAD.....	115
8.2.	CAPACIDAD DE SOPORTE.....	115
8.3.	ESTABILIDAD BAJO AGUA .....	117
8.4.	COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS HIELO-DESHIELO.....	118
8.5.	COMPORTAMIENTO ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD.....	118
Capitulo IX .....		121
	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES.....	121

9.1.	CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES .....	121
9.2.	DEGRADABILIDAD .....	122
9.3.	BIOACUMULACIÓN .....	123
9.4.	EFECTO DEL PRODUCTO EN PLANTAS O ANIMALES .....	124
9.5.	EFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE CUERPOS DE AGUA 126	
9.6.	EFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE SUELOS.....	128
9.7.	IMPACTO DEL PRODUCTO EN EL MEDIO AMBIENTE.....	129
	ANEXOS.....	131
A.1.	GLOSARIO DE TERMINOS .....	131
A.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	132
A.3.	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DE LA COSTA PERUANA .....	152
	CONCLUSIONES TECNICAS .....	154
	CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....	154
	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO.....	155
	CONCLUSIONES DEL IMPACTO SOCIAL .....	155
	CONCLUSIONES DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	156
	CONCLUSIONES GENERALES .....	156
	RECOMENDACIONES .....	157
	BIBLIOGRAFIA .....	158
	RESUMEN.....	161

# INTRODUCCION

La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas; para corregir este problema se usan variadas técnicas de estabilización de suelos; una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a estos suelos (carreteras) un mejor comportamiento en servicio; para tal efecto existe en el mercado un variado grupo de empresas dedicadas a la producción de productos químicos estabilizadores, los cuales a su vez buscan promocionar las bondades de sus respectivos productos y el menor costo en el que se incurriría si se optara por usar dichos productos.

Cuando las empresas productoras y comercializadoras de productos químicos estabilizadores comparan las ventajas de usar un aditivo químico, cloruro de sodio (sal) frente al cloruro de magnesio (Bischofita) o al cloruro de calcio, suelen destacar las ventajas de la Bischofita pero por lo general referenciándola incidentemente con el cloruro de sodio y con menos incidencia frente al cloruro de calcio. Basado en este hecho es que se planteo la presente tesis titulada “Estabilización Química de Carreteras no Pavimentadas en el Perú y Ventajas Comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio”, la cual tiene por objetivo determinar que el cloruro de magnesio es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse.

La presente investigación es importante porque permite conocer las ventajas técnicas, económicas y ambientales de los productos químicos estabilizadores, estableciendo líneas de acción a seguir al momento de optar por una u otra alternativa de estabilización de una carretera no pavimentada ubicada en la costa peruana.

# Capítulo I

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. SUELOS

#### 1.1.1. Definición

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras civiles, arquitectónicas, viales, etc. Para poder definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide se consideran tres grupos de parámetros, que son:

- a. Los parámetros de identificación: La granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua).
- b. Los parámetros de estado: La humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.
- c. Los parámetros estrictamente geomecánicos: La resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

#### 1.1.2. Clasificación de los Suelos

Para clasificar los suelos existen diversos «Sistemas de Clasificación» entre los cuales tenemos: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el American Association of State Highway Officials (AASTHO), el Sistema Británico (BS), entre otros. Los suelos se clasifican teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La granulometría del suelo
- Los límites de Atterberg
- El contenido de materia orgánica.

Los suelos, en función a las dimensiones de las partículas o fragmentos que la componen (granulometría) se clasifican en altamente orgánicos (Turba), finos (Orgánicos, Limos y

Arcillas) y gruesos (Arenas y gravas)<sup>1</sup>; basándose en la composición granulométrica, en el límite líquido y en el índice de plasticidad de un suelo; estos se clasifican en siete grupos. La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su “Índice de Grupo”, mediante esta clasificación divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares y otra por suelos de granulometría fina, limo-arcillosos.

Los suelos granulares son aquellos que tienen 35%, o menos, del material fino que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm). Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3. El grupo A-1, comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante; el grupo A-2, incluye una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% de material fino; y, el grupo A-3, incluye las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad; este grupo además incluye las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

Por otro lado, los suelos finos limo arcillosos contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz N°200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Pertenecen al grupo A-4, los suelos limosos y poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz N°200, además se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%; el grupo A-5 está comprendido por material semejantes a los del anterior, pero que tienen un límite líquido elevado; el grupo A-6 lo conforma principalmente la arcilla plástica, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%; y, el grupo A-7, lo conforman los suelos semejantes a los del A-6, con la diferencia de que son plásticos y sus límites líquidos son elevados.

### **1.1.3. Mejoramiento de Suelos**

El mejoramiento de un suelo, es un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia, su durabilidad, su insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido. Entre los métodos para mejorar el suelo sobre el cual se asienta una carretera tenemos:

#### **Cuadro 1. Métodos de mejoramiento de suelos**

---

<sup>1</sup> RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres; p. 94.

<b>Métodos</b>	<b>Físicos</b>	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
		Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
	<b>Químicos (Estabilizaciones)</b>	Con cemento.
		Con asfalto.
		Con sal.
		Con cal.
		Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	<b>Mecánicos</b>	Compactación.

**Fuente:** La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, RICO RODRIGUEZ, Alonso y DEL CASTILLO, Hermilio, Editorial Limusa S.A., 1974, México.

#### 1.1.4. Métodos Físicos

Los métodos físicos de mejoramiento de suelos incluyen:

- **Confinamiento (suelos no cohesivos):**

El confinamiento de un depósito de suelo puede lograrse con la aplicación de columnas de grava, cuya construcción implica el reemplazo parcial de entre un 15 y 35% del suelo, que usualmente penetra hasta alcanzar un estrato resistente. La presencia de la columna crea un material compuesto de menor compresibilidad media y de mayor resistencia al corte que la del suelo natural. Los procedimientos para su construcción incluyen la vibrosustitución, que consiste en introducir un tubo por vibración, con inyección en la hincia para llegar hasta la profundidad máxima. El orificio se rellena luego con material de aporte (grava de tamaños en el rango de 2 a 80 mm); o bien con pilotes de grava, para lo cual se encamisa la perforación y, alcanzado el nivel previsto se la rellena, para luego extraer la camisa.

- **Preconsolidación (suelos cohesivos):**

La preconsolidación se logra aplicando una sobrecarga sobre un depósito de suelo, la que debe exceder la carga máxima que este va a soportar. Se busca así que la consolidación parcial sea equivalente al mayor grado que alcanzará con la carga máxima, la que requerirá mayor tiempo para producirse.

El proceso puede acelerarse por medio de drenes verticales, conectados en su parte superior por un manto de arena que permita la liberación de la humedad.

- **Mezclas de suelos:**

La mezcla de suelos requiere la realización de una serie de ensayos, con el fin de evaluar las características de cada uno de los tipos de suelo que se desean mezclar. Este método requiere la remoción de gran cantidad de material de la superficie y no resulta práctico para el mejoramiento mecánico de depósitos de gran profundidad, por lo que su uso se limita a obras viales.

- **Vibroflotación:**

La vibroflotación es un método apto para suelos granulares con un bajo contenido de finos. Consiste en introducir en el terreno un tubo con una cabeza vibratoria, cuya acción producirá un reacomodamiento de sus granos, lo que aumentará su densidad.

El método se aplica siguiendo una red de geometría diseñada en la superficie del terreno, de forma tal que el tratamiento alcance la totalidad del depósito. Tiene la ventaja de alcanzar profundidades importantes sin afectar edificaciones cercanas. Conforme se retira la cabeza vibratoria, el espacio vacío se rellena con material de aporte. En la superficie puede ser necesario agregar un cierto volumen de material para compensar la pérdida de volumen por el reacomodo de los granos.

### **1.1.5. Métodos Químicos**

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales.

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. La

aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

Con cemento: Se mezcla el suelo con cemento Pórtland, lo que genera dos procesos: a) los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales; b) una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la pérdida de peso o se produzcan cambios de volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método, pero si los materiales son mal graduados se requerirá mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado.

Con asfalto: Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos. Es importante el contenido de humedad del material al anexar el asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo.

Con sales: Se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno (H<sup>+</sup>) ni básicos de hidróxilo (OH<sup>-</sup>). Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas. En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, BaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio.

## 1.1.6. Métodos Mecánicos

### Compactación de Suelos

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo- deformación de los suelos. La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos; es la primera etapa del proceso de estabilización de los suelos que tiene como objetivo principal el obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda vida útil de la obra. La compactación ha figurado entre las técnicas de construcción desde las épocas más remotas de la que se tiene noticia. Los métodos de apisonado por el paso de las personas o animales se utilizaron en épocas muy lejanas, como por ejemplo en la construcción de grandes obras hidráulicas en diversas partes de Asia.<sup>2</sup> Las principales variables que afectan el proceso de compactación de los suelos son:

**La naturaleza del suelo:** La clase de suelo —arcilloso, grueso o finos— con la que se trabaja es una de las variables que influye de manera decisiva en el proceso de compactación de los suelos; tal es así que las técnicas y resultados que se obtengan responderán a un tipo de suelo.

**El método de compactación:** Los métodos de compactación pueden ser por impactos, por amasado, por aplicación de carga estática o por vibración.

**La energía específica:** Entendida como tal a la energía que se entrega al suelo por unidad de volumen; es decir, es la energía de compactación.

**El contenido de agua original del suelo:** Se refiere este concepto al contenido natural de agua que el suelo poseía antes de añadirle o quitarle humedad para compactarlo, en busca del contenido óptimo.

**La temperatura:** Ejerce un importante efecto en los procesos de compactación de campo, en primer lugar por efectos de evaporación del agua incorporada al suelo o de condensación de la humedad ambiente en el mismo.

---

<sup>2</sup> Cfr. RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres; pág. 153.

**Otras Variables:** Otras variables que afectan el proceso de compactación de los suelos son el contenido de agua del suelo, la re compactación, el contenido de sales, la naturaleza de la arcilla, el numero de pasadas del equipo de compactación por cada punto y el numero de golpes del pisón compactador.



**Imagen 1.** Compactación en la carretera Viru – Zaraqe, Provincia: Viru, Departamento: La Libertad.

**Fuente:** Fotografiado propio, 2008.

## 1.2. CAMINOS

Se llama camino al lugar por donde se va a pie o en algún medio de transporte, de un lado a otro. Particularmente se suele llamar camino a la vía de comunicación de tierra o rústico. Tanto los caminos como las carreteras son medios de comunicación terrestres que cumplen la misma finalidad; pero teniendo en cuenta la alusión a su fin específico, el término camino engloba al término carretera; y es que camino hace alusión a una vía por donde caminar desde una perspectiva personal o grupal —teniendo como medio de locomoción las piernas— hasta abarcar los medios de locomoción no humanos, e incluso los motorizados; por otro lado el termino carretera alude a medios de locomoción terrestres distinto a los inherentes al ser humano —La carreta inicialmente—. En su concepción como medio de comunicación terrestre, originalmente ambos —los caminos y las carreteras— fueron trazadas con el fin de comunicar o unir pueblos y ciudades; pero hoy en día su construcción se identifica más con la necesidad de interconectar una vía terrestre y con

mayor rapidez, a los centros de producción y de consumo, y de esta manera permitir el flujo de mercancías y el transporte de pasajeros.

### **1.2.1. Importancia Histórica de Los Caminos**

En la antigüedad el movimiento de bienes y personas se hacía mayormente a pie o por animal de carga, y las sendas eran suficientes. “Las civilizaciones clásicas del Medio Oriente, China, etc. y los imperios Inca y Maya dejaron evidencias históricas de mucho interés respecto a redes de caminos, algunas con un grado de desarrollo sorprendente”<sup>3</sup>. En el 500 a.C. Darío I ordena ejecutar la primera red de caminos que incluyó el Camino Real Persa el que también fue usado durante el Imperio Romano. El imperio Romano sobresalió por la construcción de sus calzadas; el crecimiento sostenido del sistema romano de calzadas hasta llegar al máximo de 90.000 kilómetros construidos se desarrolló siguiendo un esquema lógico. En principio, todas las calzadas principales se construyeron por y para el ejército, por lo que muchas de ellas se adentraban más allá del dominio romano, hasta los territorios hostiles del otro lado de la frontera; pero finalmente el pueblo podría hacer uso de ellas. La más famosa y probablemente la primera calzada de la antigüedad fue la *Vía Appia*, que se construyó en el 312 a.C., una calzada que conectaba Roma con Capua<sup>4</sup>.

En la edad media, los medios de transporte eran tremendamente primitivos y los caminos muy precarios. La estructura medieval era heredera de las vías romanas que empezaron a tener una mayor atención a partir del siglo XII. La movilidad aumenta a partir del año 1000 cuando se produce un aumento de la seguridad en las vías de comunicación. Durante estos viajes los viajeros podían ser asaltados por bandidos y había que pagar numerosos peajes al atravesar territorios señoriales lo que motivaba que el trayecto alcanzado fuera bastante limitado. Considerando que el viajero utilizara un animal para sus desplazamientos, no recorrería más de 60 kilómetros diarios por lo que atravesar Francia —por ejemplo— llevaba del orden de 20 días. Las vías fluviales serían más rápidas pero este medio de comunicación era más utilizado por las mercancías.<sup>5</sup>

En el siglo XVI, aparecen las carretas grandes con capacidad de dos a cuatro toneladas y jalados por caballos o bueyes —los cuales podían conformar equipos de hasta seis

---

<sup>3</sup> JUAREZ, Eulalia y RICO, Alfonso. *Mecánica de suelos* (Tomo II); pág. 529.

<sup>4</sup> En los tiempos antiguos, Capua era la capital de la Campania, a 26 km de la actual Nápoles.

<sup>5</sup> La vida cotidiana en la edad media. Artículo publicado en [portalplanetasedna.com](http://portalplanetasedna.com)

animales—. En el siglo XVII, la construcción y mantenimiento de los caminos británicos dependía de las administraciones locales, esta situación provocó un irregular estado de las mismas; para remediar esto se crearon las primeras vías de peaje en el año 1706 con el fin de sufragar los costos de mantenimiento de la vía (en 1844 unos disturbios provocaron la desaparición de este sistema). En los albores del siglo XX, las carreteras —por las cuales circulaban carros y carretas, coches de caballos y diligencias— se caracterizaban por tener curvas cerradas, fuertes desniveles y un pavimento que desprendía tanto polvo al paso de los vehículos que transeúntes y conductores podían apenas soportarlo. Sería en los años 30 del siglo XX cuando en Alemania se empezaría a desarrollar un nuevo tipo de carretera de alta capacidad para vehículos conocida como *Autobahn* que pasarían a ser las primeras autopistas de la historia.

### **1.2.2. Los Caminos en la Historia del Perú**

El camino de los Incas causó una explicable sorpresa entre los españoles que lo encontraron en pleno funcionamiento. De los más de 7000 Km. de largo que tiene la cordillera de los Andes, unos 5000 fueron cubiertos por el Qhapaq Ñan<sup>6</sup>. Desde todos los puntos era posible llegar a una red que era radial o lineal según la demanda de los territorios. Esta red tenía como eje central la cordillera de los Andes. La opción tecnológica de la época conducía a una solución peatonal, donde el camino debía facilitar el tránsito de personas, séquitos y caravanas, muchas veces acompañados por recuas de llamas, conduciendo a los trajinantes por senderos firmes y bien trazados. Se recorría longitudinalmente la cordillera, salvando las pendientes con el uso de escalinatas, salvando las quebradas con el uso de puentes y habilitando «pasos» en los puntos del camino donde los macizos imponían soluciones tales como túneles.

Debido a que la habilitación de las carreteras —que son caminos para rodar y no para caminar— es una opción altamente costosa para los países cordilleranos —entre ellos el Perú— y dado que esta exige terrenos planos y preferentemente horizontales; estos aspectos se convirtieron en factores que retardaron y dificultaron enormemente el desarrollo de una política de carreteras en el Perú. Es por eso que la instalación de los medios mecánicos de transporte, producto de la gran Revolución Industrial que invadió el mundo en el siglo

---

<sup>6</sup> El “Qhapaq Ñan” era el camino principal, de donde se desprendían una serie de caminos laterales que vinculaban el eje longitudinal con todos y cada uno de los asentamientos humanos instalados en las cimas, laderas y quebradas de la cordillera.

XIX, la cual indujo a una política de comunicación terrestre basada en el uso de los carros; fue lento en el Perú.<sup>7</sup>

## **1.3. PAVIMENTO**

### **1.3.1. Definición**

Se llama pavimento a la “capa o conjunto de capas comprendida (s) entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial”<sup>8</sup>.

### **1.3.2. Tipos de Pavimentos**

Por sus capas superiores y superficie de rodadura pueden ser clasificados como sigue:

#### **1.3.2.1 . CON SUPERFICIE DE RODADURA NO PAVIMENTADA**

#### **1.3.2.2 CON SUPERFICIE DE RODADURA PAVIMENTADA**

##### **1.3.2.2.1 Pavimentos flexibles:**

Pertenecen a este tipo, los pavimentos que están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas —la base y la sub-base—; de calidad descendente hacia abajo<sup>9</sup>. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los pavimentos Flexibles a su vez se subdividen en los siguientes tipos:

a) Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie bituminosa de espesor variable menor a 25 mm, como son los tratamientos superficiales bicapa y tricapa.

---

<sup>7</sup> GUILLERMO LUMBRERAS, Luis. QHAPAQÑAN. El camino de los incas (Adaptación).

<sup>8</sup> JUAREZ BADILLO, Eulalia y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos (Tomo II); pág. 530.

<sup>9</sup> JUAREZ BADILLO, Eulalia y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos (Tomo II); pág. 530.

b) Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa bituminosa de espesor variable mayor a 25 mm, como son las carpetas asfálticas en frío y en caliente.

#### **1.3.2.2 Pavimentos semi rígidos:**

Conformados con solo capas asfálticas (full depth) o por adoquines de concreto sobre una capa granular, cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberán recurrir a los manuales de diseño correspondiente.

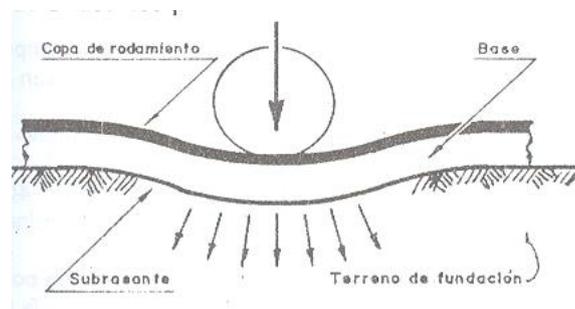
#### **1.3.2.3 Pavimentos rígidos:**

Conformado por losa de concreto hidráulico o cemento Pórtland sobre una capa granular; es decir, están apoyados sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado compuesta por grava y arena. Los pavimentos rígidos, no necesariamente tienen recubrimiento bituminoso. Cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberán recurrir a los manuales AASHTO o similares.

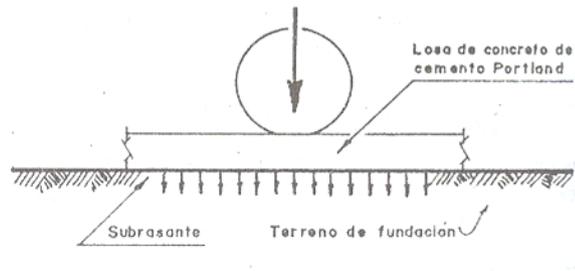
La principal diferencia entre los pavimentos flexibles y los rígidos; está en la forma como se reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico.

### DISTRIBUCIÓN DE CARGAS SEGÚN EL TIPO DE PAVIMENTO

#### PAVIMENTO FLEXIBLE



#### PAVIMENTO RÍGIDO



**Figura 1.** Distribución de carga en un Pavimento rígido versus uno flexible

**Fuente:** CESPEDES ABANTO, José María. Los pavimentos en las Vías Terrestres, Calles, Carreteras y Aeropistas; pág. 37-40.

# Capítulo II

## CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

### 2.1. CARRETERAS

#### 2.1.1. Definición

Una carretera es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos terrestres. La carretera se distingue de un camino porque la primera esta especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte. El diseño de una carretera y su respectiva superficie de rodadura responde a una necesidad justificada social y económica; es decir, ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta a fin de que los resultados buscados sean óptimos, en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, la cual normalmente se encuentra en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales.

Las carreteras han sido desde siempre el principal medio de desplazamiento de viajeros, y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades, y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo. Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y, también, el desarrollo social.

Los elementos que integran y definen la sección transversal de una carretera son:

- Ancho de zona o derecho de vía
- Calzada ó superficie de rodadura:

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.

- Berma:

Es la franja longitudinal, pavimentada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.

- Carril:

Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

- Cunetas:

Son canales abiertos contruidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento. La sección transversal puede ser triangular, trapezoidal o rectangular.

- Taludes y elementos complementarios

Los taludes para las secciones en corte variarán de acuerdo a la estabilidad de los terrenos en que están practicados; la altura admisible del talud y su inclinación se determinarán en lo posible, por medio de ensayos y cálculos, aún aproximados.



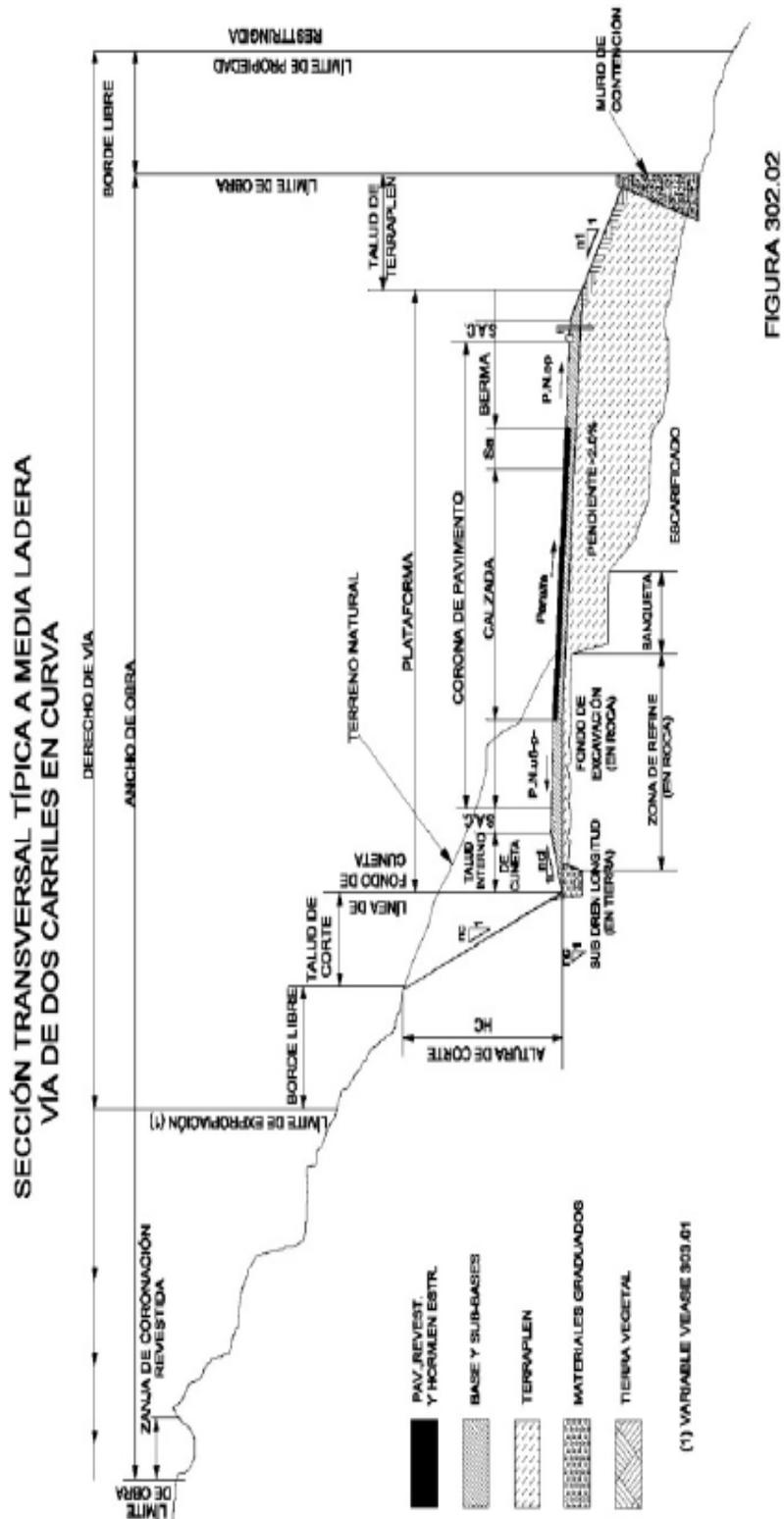


FIGURA 302.02

**Figuras 3:** Donde se muestra una sección en media ladera para una vía multicarril con separador central en tangente y una de dos carriles en curva.

**Fuente:** Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito MTC

## **2.1.2. Clasificación de las Carreteras**

### **2.1.2.1. Clasificación de las Carreteras según su Función**

#### a) RED VIAL PRIMARIA

Se denomina en el Perú como SISTEMA NACIONAL, conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.

#### b) RED VIAL SECUNDARIA

Se denomina en el Perú como SISTEMA DEPARTAMENTAL, constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.

#### c) RED VIAL TERCIARIA O LOCAL

Se denomina en el Perú como SISTEMA VECINAL compuesta por:

- Caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones.
- Caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblaciones.

### **2.1.2.2. Clasificación de Acuerdo a la Demanda**

#### 1. AUTOPISTAS

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

#### 2. 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. Se le denominará con la sigla MC (Multicarril).

#### 3. CARRETERAS DE 1RA. CLASE

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

#### 4. CARRETERAS DE 2DA. CLASE

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

#### 5. CARRETERAS DE 3RA. CLASE

Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día.

## 6. 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.

### 2.1.2.3. Clasificación según Condiciones Orográficas

- **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%.

### 2.1.2.4. Clasificación según el tipo de superficie de Rodadura

Teniendo en cuenta la estructura de la carpeta de rodadura, las carreteras pueden clasificarse en:

### **A. Carreteras pavimentadas:**

Las carreteras pavimentadas son aquellas vías que tienen una estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados (pavimento), que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las solicitaciones que impone el tránsito. Las carreteras pavimentadas son construidos plenamente desde el punto de vista de la ingeniería, donde la superficie de rodamiento está formada por capas de concreto asfálticos, concreto hidráulico o adoquines. Los costos de transporte de importar material adecuado han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. En muchas ocasiones, las resistencias requeridas pueden obtenerse de un material local de baja calidad, a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores (estabilizadores cementantes, asfálticos, entre otros) a un costo relativamente bajo. Estas técnicas son aplicables tanto al reciclado como a nuevas construcciones. A través del suplemento de un agente estabilizador, el material recuperado de un pavimento existente puede ser mejorado, eliminando así la necesidad de importar nuevos materiales que cumplan con las resistencias requeridas por la estructura del pavimento.

### **B. Carreteras no pavimentadas:**

Son aquellas vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. El manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, ha considerado que básicamente se utilizarán los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura:

- Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una

dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.

Afirmados con gravas naturales o zarandeadas.

Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.

- Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:

Grava con superficie estabilizada con materiales como: cal, aditivos químicos y otros.

Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, cal, aditivos químicos y otros.

**Cuadro 2.** Características básicas para la superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito

<b>CARRETERA DE BVT</b>	<b>IMD PROYECTADO</b>	<b>ANCHO DE CALZADA</b>	<b>ESTRUCTURAS Y SUPERFICIES DE RODADURA ALTERNATIVAS</b>
<b>T1</b>	<b>101- 200</b>	<b>2 carriles 5.50-6.00</b>	<b>Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeo o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm) estabilizadas con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.</b>
<b>T2</b>	<b>51- 100</b>	<b>2 carriles 5.50-6.00</b>	<b>Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm.</b>
<b>T3</b>	<b>16- 50</b>	<b>1 carril (*) o 2 carriles 3.50-4.50</b>	<b>Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm</b>
<b>T0</b>	<b>&lt; 15</b>	<b>1carril (*) 3.50-40.50</b>	<b>Afirmado (tierra) en lo posible mejorado con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado. min15 cm</b>

<b>Trocha carrozable</b>	<b>IMD indefinido</b>	<b>1 sendero (*)</b>	<b>Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada: perfilado y compactado</b>
------------------------------	-----------------------	----------------------	---

**Fuente:** Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito; p.7.

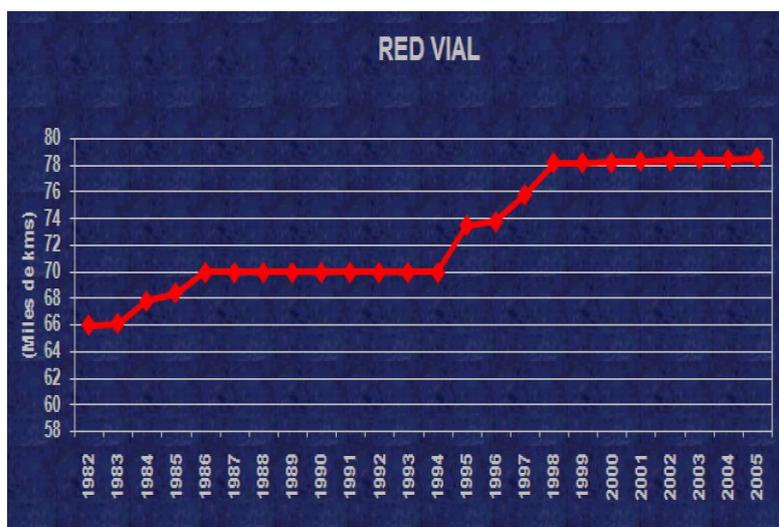
(\*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(\*\*) En caso de no disponer gravas en distancia cercana las carreteras puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

## 2.2. SISTEMA VIAL PERUANO

La red vial en el Perú está compuesta por más de 78,000 km. de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace. Estas rutas están a cargo de PROVIAS, organismo descentralizado del ministerio de Transportes y Comunicaciones, quien tiene la función mantener y ampliar dichas vías. Por la calidad y el tipo de vehículos que las recorre podemos clasificarla en 3 categorías: autopistas, carreteras asfaltadas y caminos afirmados.<sup>10</sup>

La evolución de la infraestructura vial a través de las décadas de los ochenta y noventa —del siglo pasado— hasta mediados de la actual década: se pueden apreciar en la figura 1 y en forma más detallada en la tabla 1.



<sup>10</sup> EDUCARED – Perú.

**Figura 5.** Evolución de la Red Vial Peruana.

**Fuente:** MTC - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2008.

**Cuadro 3. LONGITUD DE LA RED VIAL, SEGÚN TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA Y SISTEMA DE CARRETERA, 2005-2008 (Kilómetros)**

<b>Tipo de superficie de rodadura</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Sistema de carretera</b>				
<b>Total</b>	1944.33	1944.33	1398.98	1398.98
Nacional	458.116	458.116	642.866	642.866
Departamental	257.87	257.87	124.62	124.62
Vecinal	1228.35	1228.35	631.5	631.5
<b>Asfaltado</b>				
Nacional	357.126	357.126	357.126	357.126
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	50.7	50.7	66.6	66.6
<b>Afirmado</b>				
Nacional	0.00	0.00	51.5	51.5
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	105.7	105.7	58.8	58.8
<b>Sin afirmar</b>				
Nacional	70.79	70.79	204.04	204.04
Departamental	257.865	257.865	124.615	124.615
Vecinal	66.90	66.90	66.90	66.90
<b>Trocha</b>				
Nacional	30.2	30.2	30.2	30.2
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	905.05	905.05	439.2	439.2

**Nota:**

(\*)Red Nacional, está conformada por las grandes rutas longitudinales (Panamericana, Carretera de la Sierra o Andina y Marginal de la Selva) y las rutas transversales.

(\*\*)Red Departamental, está conformada por carreteras que constituyen la red vial circunscrita a la zona de un departamento, uniendo las principales capitales de provincia de ese departamento.

(\*\*\*)Red Vecinal, llamada también Camino Rural, está constituida por caminos que comunican pueblos o caseríos pequeños.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

**Cuadro 4.** Evolución de la Red Vial Peruana.

<b>Año</b>	<b>Miles de Km</b>
<b>1986</b>	69,94
<b>1987</b>	69,94
<b>1988</b>	69,94
<b>1989</b>	69,94
<b>1990</b>	69,94
<b>1991</b>	69,94
<b>1992</b>	69,94
<b>1993</b>	69,94
<b>1994</b>	69,94
<b>1995</b>	73,44
<b>1996</b>	73,77
<b>1997</b>	75,73
<b>1998</b>	78,11
<b>1999</b>	78,13
<b>2000</b>	78,21
<b>2001</b>	78,25
<b>2002</b>	78,32
<b>2003</b>	78,40
<b>2004</b>	78,40
<b>2005</b>	78,51

**Fuente:** Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2008.

### **2.2.1. Carreteras no Pavimentadas en el Perú**

La red vial en el Perú, la cual como se señaló en el capítulo anterior está compuesta por más de 78,000 km. de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace. La mayor parte de nuestra red vial son caminos afirmados construidos en base a tierra y ripio, es decir son

carreteras no pavimentadas dentro de la cual se distinguen tres tipos: Los que pertenecen a la red nacional, los caminos secundarios<sup>11</sup> y vecinales y, las trochas carrozables<sup>12</sup>.

## **2.2.2. Obras Ejecutadas en Carreteras No Pavimentadas**

### **2.2.2.1. Mantenimiento de carreteras no pavimentadas**

En forma general, se define el término «mantenimiento vial» como el “conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro”<sup>13</sup>. En el Perú, las carreteras no pavimentadas, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), las cuales se caracterizan por tener una superficie de rodadura de material granular. Además, si se toma en consideración el Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada se distingue dos tipos de trabajos en carreteras no pavimentadas.

#### **2.2.2.2. Mantenimiento rutinario**

Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan en los diferentes tramos de la vía; estas actividades tienen como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. El mantenimiento rutinario es de carácter preventivo, por tal razón se incluyen como parte de este; a las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras actividades. En síntesis, el mantenimiento rutinario como conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio, para lo cual se realizan actividades que pueden ser manuales o mecánicas —principalmente labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de

---

<sup>11</sup> Los caminos secundarios de mayor importancia son las carreteras que conforman la Red Vial Departamental o Regional.

<sup>12</sup> Los caminos vecinales y las trochas carrozables o caminos de penetración, son las carreteras que conforman la Red Vial Vecinal o Rural

<sup>13</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada; pág. 8.

derrumbes de pequeña magnitud, etc. —; también incluye las actividades socio ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

### **2.2.2.3. Mantenimiento periódico**

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconformación de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino. En otras palabras el mantenimiento será periódico, cuando el conjunto de actividades programadas cada cierto período, se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio; dichas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de desescalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte.

### **2.2.2.4. Conservación de carreteras**

Dentro de las tareas de conservación pueden distinguirse diferentes niveles; en primer lugar, se sitúa la conservación propiamente dicha, en la cual las actuaciones no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos de las carreteras. Dentro de esta conservación se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando esos deterioros han aparecido (conservación curativa). A su vez, la conservación curativa puede dirigirse a la reparación de deterioros localizados (operaciones localizadas) o al tratamiento de tramos de una longitud apreciable (operaciones generales). Dado que la conservación vial involucra muchas actividades. Una de las más importantes es capacitar técnicamente a quienes tienen la tarea de hacerlo y organizar su esfuerzo lo cual por su naturaleza es una tarea permanente. Otra de las actividades es la ejecución misma de las obras de conservación, las cuales que deberán realizarse correcta y oportunamente. Como se señaló en las líneas precedentes, la conservación vial está a cargo del Estado, en sus diversos niveles de gobierno; luego, para lograr proteger las carreteras, las autoridades y/o entidades competentes o responsables de la conservación de las obras viales<sup>14</sup> -según el tipo de red vial-, son:

---

<sup>14</sup> Ibíd. p. 16.

- Para la Red Vial Nacional: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Para la Red Vial Departamental o Regional: El Gobierno Regional a través de su unidad ejecutora de la Gestión Vial; y
- Para la Red Vial Vecinal o Rural: Los gobiernos locales a través de sus unidades ejecutoras de gestión vial.

#### **2.2.2.5. Rehabilitación de las carreteras no pavimentadas**

En un segundo nivel de la conservación se sitúan las rehabilitaciones. En general, se recurre a ellas cuando el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o cuando se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad. Las rehabilitaciones de una carretera no pavimentada incluyen actuaciones de carácter extraordinario —a menudo de aplicación general—, en un tramo de longitud apreciable y cuyo objetivo es un aumento significativo del índice de estado o de comportamiento de la carretera. Las rehabilitaciones pueden referirse a:

- Rehabilitaciones superficiales; cuando se trata de rehabilitaciones o renovaciones superficiales. Por ejemplo: Disminuir o eliminar el nivel de polvo que empieza a presenciarse luego de un tiempo después de haberse aplicado el estabilizador.
- Rehabilitaciones significativas. Por ejemplo: Cuando se opta por cambiar el aditivo estabilizador por otro.
- Rehabilitaciones estructurales; las que se llevan a cabo habitualmente con el fin de producir un aumento significativo de la capacidad estructural de la carretera. Por ejemplo: Cuando se ensancha la carretera o se opta por la pavimentación.



El ensanche de la carretera, es un típico caso de rehabilitación estructural; dicho trabajo tiene como fin el aumento de la capacidad de la carretera.

**Imagen 2.** Trabajos de ensanche en la carretera Virú - Zараque.

**Fuente:** Fotografiado propio, 2008.

## Capítulo III

# ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

### 3.1. ESTABILIZACION DE SUELOS

Es el procedimiento realizado para hacer más estable a un suelo, para lo cual por lo general se siguen dos procesos; el primero y el que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, consiste en aumentar la densidad de un suelo compactándola mecánicamente; y, el segundo proceso que consiste en mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica. La estabilización de suelos es un concepto más amplio y general que el de compactación de suelos<sup>15</sup>, pues esta, además incluye cualquier procedimiento útil para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo, como estructura. Rico y Del Castillo, sitúan a la compactación dentro del conjunto de métodos de mejoramiento de suelos que hoy pueden aplicarse. La estabilización de los suelos en la ingeniería práctica —particularmente en las vías terrestres—, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento del esfuerzo de deformación de los suelos.

El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros; buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil. En los terrenos arcillosos, particularmente en climas áridos o semiáridos, es altamente probable encontrar problemas relacionados con las inestabilidades volumétricas ante la ganancia o pérdida de agua.

---

<sup>15</sup> Se define la compactación como la densificación del suelo por medios mecánicos. El objetivo, mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa.

## **3.2. CANTERAS Y MATERIALES PARA CONSTRUIR EL AFIRMADO**

### **3.2.1. Materiales para Afirmado**

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en la carretera afirmada. El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado. Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: Su uso como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.<sup>16</sup>

- Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos está expuesto a perderse porque es inestable. En construcción de carreteras, se requiere un porcentaje limitado pero suficiente de materiales finos y plásticos que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.
- Un buen afirmado para capa inferior, tendrá mayor tamaño máximo de piedras que en el caso de la capa de superficie y muy poco porcentaje de arcillas y de materiales finos en general. La razón de ello es que la capa inferior debe tener buena resistencia para soportar las cargas del tránsito y, además, debe tener la cualidad de ser drenante.

### **3.2.2. Fuente de Materiales - Canteras**

Es difícil encontrar depósitos naturales de material que tengan una gradación ideal, donde el material sin procesar se pueda utilizar directamente por lo que generalmente será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. En general, los

---

<sup>16</sup> Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito; pág. 111.

materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias (previa aprobación del supervisor).

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, o materiales para el afirmado de las carreteras. Las canteras son evaluadas y seleccionadas teniendo en cuenta su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones o registros de los yacimientos de los cuales existen restos visibles que se realizarán en las canteras se efectúan en base a calicatas de las cuales se obtienen muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio; luego, el informe geotécnico de canteras o fuentes de materiales, debe incluir, al menos, la siguiente información:<sup>17</sup>

- Ubicación y potencia de la cantera.
- Condiciones de explotación tales como nivel freático, accesos, pendientes, taludes, etc.
- Características principales de los materiales que puedan obtenerse para definir su aptitud como agregados para rellenos, afirmados, carpetas asfálticas, gravas, concreto, etc.
- Rendimientos por tipo de uso, limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su uso (por ejemplo, condiciones de humedad, sobre tamaño, etc.)
- Propiedad y disponibilidad de uso de la cantera o fuente de materiales.

Según el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, los criterios más importantes a fin de seleccionar la superficie de rodadura para una carretera afirmada, establecen que a mayor tránsito pesado, se justificará utilizar afirmados de mayor rendimiento y que el alto costo de la construcción debe impulsar el uso de materiales locales para abaratar la obra, lo que en muchos casos podrá justificar el uso de afirmados estabilizados.

---

<sup>17</sup> Ibid.



**Imagen 3.** Obtención de material para el afirmado de carreteras.

**Fuente:** Fotografiado propio, 2009.

### **3.3. ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS**

Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar los suelos; cada método, utiliza diferentes agentes estabilizadores, entre los que se pueden encontrar: La cal, el cloruro de sodio, el cemento, los asfaltos, las imprimaciones reforzadas, la Bischofita entre otros; incluso se ha utilizado la combinación de diferentes productos estabilizadores, así como la mezcla de suelos con el fin de dar soluciones óptimas a problemas particulares. Según el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas, la capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de subrasante y del afirmado, deberá estar de acuerdo a los valores de diseño; no se admitirán valores inferiores. En consecuencia, si los materiales a utilizarse en la carretera no cumplen las características generales previamente descritas, se efectuará la estabilización correspondiente del suelo. De esta forma, se podrán utilizar suelos de características marginales como subrasante o en

capas inferiores de la capa de rodadura y suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente (CBR menor al mínimo requerido) en la capa de afirmado.

La estabilización puede ser granulométrica o mecánica, conformada por mezclas de dos o más suelos de diferentes características, de tal forma que se obtenga un suelo de mejor granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, etc. También la estabilización se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo.

### **3.4. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA**

La estabilización química hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. El diseño de estabilizaciones con agentes químicos estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Las características principales de las sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores son:

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: es muy usado para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. En el cuadro 4 se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos. Los aditivos, materiales o agentes a usarse en el proceso de estabilización de las carreteras no pavimentadas son clasificados tal como se detalla en los siguientes apartados.

**Cuadro 5.** Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos

<b>Componente Dominante</b>	<b>Estabilizante Recomendado</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Arenas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arcilla de baja plasticidad</li> <li>- Cemento Portland</li> <li>- Asfaltos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para estabilización mecánica</li> <li>- Incrementar el peso Volumétrico de la cohesión.</li> <li>- Incrementar la cohesión.</li> </ul>
<b>Limos</b>	Dependerá del tipo de minerales que contenga.	-----
<b>Alófanos</b>	Cal	Acción puzolánica e incremento en el peso volumétrico.
<b>Caolín</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arena</li> <li>- Cemento</li> <li>- Cal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para estabilización mecánica.</li> <li>- Para resistencias tempranas</li> <li>- Trabajabilidad y resistencia tardía.</li> </ul>
<b>Ilita (Mineral de Arcilla)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento</li> <li>- Cal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Igual que el Caolín</li> <li>- Igual que el Caolín</li> </ul>
<b>Montmorilonita</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cal</li> </ul>	Trabajabilidad y resistencia reducción de expansiones y

		contracciones.
--	--	----------------

**Fuente:** Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres; pág. 10.

### 3.4.1. Cemento

El cemento se usa cada vez más como estabilizador para suelos, particularmente en la construcción de carreteras y presas de tierra. El cemento se usa para estabilizar suelos arenosos y arcillosos; como en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el límite líquido y a incrementar el índice plástico y la manejabilidad de los suelos arcillosos; para suelos arcillosos, la estabilización con cemento es efectiva cuando el límite líquido – contenido de humedad, en porcentaje– es menor que 45 - 50 y el índice plástico<sup>18</sup> es menor que aproximadamente 25. Los requisitos óptimos del cemento por volumen para la estabilización efectiva de varios tipos de suelos están dados en la siguiente tabla:

**Cuadro 6.** Cemento requerido por volumen para la estabilización efectiva de varios suelos

Tipo de Suelo		
Clasificación AASHTO	Clasificación Unificada	Porcentaje de Cemento por volumen
A-2 y A-3	GP, SP y SW	6-10
A-4 y A-5	CL, ML y MH	8-12
A-6 y A-7	CL, CH	10-14
*Según Mitchell Freitag (1959)		

**Fuente:** Principios de Ingeniería de Cimentaciones, p. 814.

Al igual que la cal, el cemento ayuda a incrementar la resistencia de los suelos y la resistencia crece con el tiempo de curado. El cuadro 7 presenta algunos valores típicos de la resistencia a compresión no confinada de varios tipos de suelos no tratados y mezclas hechas con aproximadamente el 10% de cemento de peso. Los suelos granulares y arcillosos con baja plasticidad son obviamente los más adecuados para a estabilización con cemento. Por estas razones debe ponerse atención a la selección del material estabilizador. Para compactación en campo la cantidad apropiada de cemento se mezcla con suelo ya sea en el sitio o en una planta mezcladora y luego se lleva al sitio. Igual que la inyección de cal, el mortero hecho de cemento Portland y agua (relación agua-cemento = 0.5:5) se usa

<sup>18</sup> Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.

para que la cementación disminuye la permeabilidad hidráulica de los suelos e incrementa la resistencia y la capacidad de carga. En el diseño de cimentaciones de maquinaria de baja frecuencia sometidas a fuerzas vibratorias, a veces es necesario rigidizar la cimentación por cementación incrementando así la frecuencia de resonancia.<sup>19</sup>

**Cuadro 7.** Resistencias típicas a compresión de suelos y mezclas suelo – cemento

Material	Rango de la resistencia a Compresión no confinada	
	lb/pulg <sup>2</sup>	(kN/m <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>
<b>Suelo no tratado:</b>		
Arcilla, turba	Menor que 50	Menor que 350
Arcilla arenosa bien compactada	10-40	70- 280
Grava, arena u mezclas arcillosas, bien compactadas	40-100	280-700
<b>Suelo- cemento (10% de cemento por peso):</b>		
Arcilla, suelos orgánicos	Menor que 50	Menor que 350
Limos, arcillas limosas, arenas muy mal graduadas, suelos ligeramente orgánicos	50-150	350-1050
Arcillas limosas, arcillas arenosas, arenas muy mal graduadas y gravas	100-250	700-1730
Arenas limosas, arcillas arenosas, arenas gravas	250-500	1730-3460
Mezclas de arena-arcilla o grava-arena-arcilla bien graduadas y arenas y gravas	500-1500	3460-10,350
<sup>a</sup> Según Mitchell Freitag (1959)		
<sup>b</sup> Redondeada		

**Fuente:** Principios de Ingeniería de Cimentaciones, p. 814.

<sup>19</sup> BRAJA M. Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones: pp. 813 – 815.

### **3.4.1.1. Desempeño del cemento como agente estabilizador**

El cemento es el agente estabilizador más comúnmente utilizado. Una de las razones principales es la disponibilidad, pues el cemento se fabrica en la mayoría de los países. Otra razón es su comprobado historial como material de construcción. Existe gran cantidad de estándares de ensayos y especificaciones disponibles, y además, las capas estabilizadas con cemento han superado las expectativas de desempeño en miles de kilómetros de pavimentación a lo largo de décadas. Pese a esto, la estabilización con cemento requiere de un adecuado enfoque de diseño. La función primaria de la adición de cemento es aumentar la resistencia del material y la resistencia de compresión no confinada (UCS, Unconfined Compressive Strength), esto le ha permitido alcanzar una aceptación global como el principal criterio de diseño; sin embargo, muchos otros factores distintos de la UCS también deben ser considerados, como la tasa de ganancia de resistencia, la Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS, Indirect Tensile Strength), el potencial de agrietamiento y la durabilidad.<sup>20</sup>

### **3.4.1.2. Resistencia del cemento**

La UCS es un parámetro importante en la evolución de resistencia de un material estabilizado con cemento. El valor de UCS es usualmente determinado en probetas que han sido curadas por 7 días a una temperatura de 22 °C y una humedad superior al 95%. Se debe tener un cuidado especial cuando se utiliza un material de granulometría gruesa. Existe la probabilidad que se produzcan “columnas de piedra” en el cuerpo de la probeta por lo cual se puede obtener una medición falsa de UCS, que se aproxima más a la resistencia de la piedra que a la de la mezcla estabilizada. Si se producen resultados de UCS muy altos (no esperados), se debería investigar el espécimen inspeccionándolo visualmente para observar la forma de falla.

### **3.4.2. Material bituminoso**

El mayor volumen de los productos bituminosos se destina para pavimentación vial. El tratamiento superficial del camino con este material consiste en aplicar una o varias capas de un producto bituminoso alternado con árido debidamente compactado. Se puede aplicar

---

<sup>20</sup> SALGADO BOCAZ, Cristián. Diseño de Base tratada de Escoria de Vanadio con Asfalto espumado para Caminos Básicos; págs. 46 – 47.

el producto en caliente, o en forma de emulsiones<sup>21</sup>, como es la tendencia mundial. El uso del asfalto (material Bituminoso) como agente estabilizador, ha incrementado enormemente su popularidad, aplicado tanto en forma de emulsión como un asfalto espumado. El tratamiento con asfalto cortado (cut back) no es considerado como un proceso de estabilización, ya que el asfalto se dispersa en una manera similar al asfalto de las mezclas en caliente. Sin embargo, debido a razones ambientales, tal tratamiento ha sido prohibido en la mayoría de los países y por lo tanto no ha sido incluido.

Tres son las principales fuentes de donde se extraen los materiales bituminosos: (a) Asfaltos naturales: Depósitos geológicos de lago, asfaltos en roca y arena; (b) Alquitrán: destilación del carbón y (c) Asfaltos del petróleo: Derivados de la destilación de crudos

Estabilizar con asfalto es una manera efectiva, desde el punto de vista de los costos, porque, se puede mejorar la resistencia de un material y reducir al mismo tiempo los efectos perjudiciales del agua. La estabilización con asfalto produce una capa relativamente flexible en comparación al mismo material tratado con cemento. El cemento se utiliza normalmente en conjunto con la emulsión asfáltica. Además de mejorar la resistencia retenida y proveer resistencia mejorada a la humedad, el cemento actúa como una forma de catalizador al controlar el quiebre, incrementando las propiedades resistentes iniciales. Las investigaciones realizadas acerca de los efectos de combinar cemento con emulsión asfáltica han mostrado que hasta un 1.5% en masa de cemento puede ser añadido sin reducir significativamente las características de fatiga de la capa estabilizada.

### **3.4.3. Productos químicos**

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. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Las emulsiones asfálticas fueron originalmente desarrolladas para resolver dificultades constructivas asociadas a la construcción con asfalto caliente, y también fueron ideadas como aplicaciones para eliminar la emisión de polvo.

<sup>22</sup> Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

Entre los productos químicos usados como estabilizadores de las vías no pavimentadas tenemos los óxidos e hidróxidos de calcio, los cloruros de calcio (Ca), sodio (Na), los cloruros férricos; el silicato sódico, el cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ ) o Bischofita y las resinas. En el Perú, es en la norma técnica de estabilizadores químicos donde se encuentra las recomendaciones y sugerencias necesarias a tenerse en cuenta en caso se desee verificar si el producto químico estabilizador cumple con las características indicadas en la documentación técnica entregada por el fabricante o distribuidor; también, en dicha norma se establecen los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades y el comportamiento del suelo mejorado; además de establecer recomendaciones a tenerse en cuenta en la utilización de los diversos estabilizadores químicos, excepto la cal y ceniza.

Entre las sales usadas como agentes estabilizadores, son los cloruros de sodio, calcio y magnesio las de mayor uso en las estabilizaciones de carreteras. Dado que de estas tres sales, las dos últimas —Cloruro de Calcio y Cloruro de Magnesio Héxahidratado «Bischofita»— son objeto de estudio de la presente tesis (ver capítulos siguientes); a continuación se presenta una descripción detallada del proceso seguido en la estabilización de una carretera, cuando el agente estabilizador (aditivo) es el cloruro de sodio o sal común.

### **3.4.4. Estabilización de Carreteras con Cloruro de Sodio**

#### **3.4.4.1. Descripción del Cloruro de Sodio**

El cloruro de sodio, popularmente denominado sal común o en su forma mineral halita, es un compuesto químico con la fórmula NaCl. Es una de las sales responsable de la salinidad del océano. La Sal (cloruro de sodio) se produce mediante 3 métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la extracción directa de las minas de sal y tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos. La sal se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y se les consigue en el mercado constituyendo cristales grandes o polvo fino y con diferentes grados de pureza.

#### **Cuadro 8.** Características típicas de la sal (cloruro de sodio)

<b>Características</b>	<b>Limites</b>
<b>Cloruro de sodio, %</b>	<b>98.00- 99.70</b>
<b>Humedad, %</b>	<b>2.00 – 3.60</b>
<b>Materia insoluble, %</b>	<b>0.007- 0.175</b>
<b>Ion calcio,%</b>	<b>0.035-0.910</b>
<b>Ion magnesio, %</b>	<b>0.002- 0.074</b>
<b>Ion sulfato,%</b>	<b>0.125-0.355</b>
<b>Tamiz 4.75 mm (Nº4)</b>	<b>20-55%</b>
<b>Tamiz 1.18 mm (Nº 16)</b>	<b>50-70 %</b>
<b>% Pasa Tamiz 1.18 mm (Nº 16)</b>	<b>13% máx.</b>

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito; sección 309B.

#### **3.4.4.2. Propiedades del Cloruro de Sodio**

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental —al ser higroscópico— puede absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

Las soluciones que contengan cloruro de sodio (NaCl) disueltas, presentan una mayor tensión superficial que en el caso del agua destilada y en 1% de sal incrementa la tensión superficial en 1 a 2 dinas por cm<sup>2</sup>, asimismo, la adición de sal al agua disminuye la presión de vapor y tiene efectos en el punto de congelación como en la tensión superficial. En pequeños porcentajes, la sal se disuelve rápidamente en el agua; pero, a medida que el porcentaje adicionado va siendo más elevado, la sal se disuelve con más dificultad y se tendrá un cierto porcentaje más allá del cual la sal ya no se disuelve.

### **3.4.4.3. Aplicaciones del Cloruro de Sodio como Estabilizador**

La sal es un estabilizante natural que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, lo que contribuye a aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, y por lo tanto a la disminución de la permeabilidad. Su uso es para todo tipo de suelo, pero su eficacia decrece ante la presencia de material orgánico. Es sabido que el cloruro de sodio es bastante soluble en agua lo cual le permite una fácil y rápida distribución de él dentro de la masa de suelo; así, la sal disuelta es llevada a través de los huecos del suelo, los que va ocupando. Durante el periodo de fraguado, la mezcla suelo-sal va perdiendo humedad. Esta pérdida de agua permite la cristalización del cloruro de sodio dentro de los vacíos del suelo que llena en calidad de sólido. Esto debe producir un aumento en la densidad del suelo.

En lo que respecta a la estabilización de suelos con Cloruro de Sodio se ha discutido mucho en lo concerniente al cambio en el peso volumétrico de una arcilla con la adición de esta sal, pues mientras algunos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no han encontrado tal cosa; pero en lo que sí parece existir un común acuerdo, es en que la adición de sal hace que se disminuya la humedad. Se admite teóricamente que el cloruro de sodio ocasiona que la arcilla se estructure en forma dispersa, produciéndose así un acercamiento entre las partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, pero en la práctica este criterio no se ha verificado en todos los casos, por lo que no se debe generalizar.

Al agregar la sal se considera que se reduce la evaporación del agua debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones. El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales. Se podrá incorporar al agua, sal (Cloruro de Sodio), produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal.

Paul Garnica y otros citando a otros autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos, principalmente en las propiedades físicas y entre las principales observaciones señala las siguientes:<sup>23</sup>

a. El peso volumétrico seco y la resistencia a la compresión se incrementan al adicionar cloruro de sodio hasta en un 3%. El límite líquido y el límite plástico se reducen al adicionar cloruro de sodio (Ogawa et al, 1963).

b. La cohesión y el ángulo de fricción interna parecen disminuir al adicionar cloruro de sodio y en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Parece que si se permite el secado antes de ensayar los especímenes tanto la cohesión como el ángulo de fricción aumentan de manera importante (Ogura & Uto, 1963).

c. Las partículas de roca caliza parecen ser solubles a soluciones de cloruro de sodio (Wood, 1969).

d. La capacidad de retención de humedad aumenta en los suelos tratados con cloruro de sodio (Marks et al 1970).

#### **3.4.4.4. Ventajas y desventajas que proporciona la sal<sup>24</sup>**

El Cloruro de Sodio (sal común) usado como agente estabilizador, presenta grandes ventajas sobre otros elementos estabilizadores —generalmente no salinos— por la gran cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación.

- **Ventajas:**

1. Es un estabilizador natural.
2. Mejora la resistencia y cohesión de los suelos
3. Se requiere de la maquinaria típica en caminos.
4. El tránsito no se interrumpe durante la ejecución de la obra ni durante el periodo de curado.

---

<sup>23</sup> Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres; pág. 22.

<sup>24</sup> HINRICHSEN TRIVIÑOS, Nicole Natalia. Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: Frente a la acción del agua, para distintas mezclas; págs. 16 – 18.

5. Ausencia de polvo, calamina, material suelto, y ahuellamiento del camino por lo tanto mejora la calidad de vida.

6. Bajo punto de congelamiento.

7. Tránsito más seguro, mejor visibilidad, superficie de rodada más suave.

8. Caminos tratados con sal demandan mantención mínima, y sureparación es sencilla y económica en comparación con otros caminos estabilizados con productos no salinos.

9. Otra ventaja es la reducción en forma considerable del ruido en el exterior del vehículo, debido al texturado superficial más cerrado con la que queda la carpeta con sal.

• **Desventajas:**

1. Dependiendo del clima, requiere de un periodo de curado de aproximadamente 15 días a temperatura ambiente.

2. Caminos tratados con Sal demandan vigilancia luego de terminado el proceso de estabilizado.

3. A pesar de que el camino puede ser utilizado inmediatamente luego de terminar con la compactación de la carpeta, se deberá tomar como precaución que los vehículos eviten frenen bruscamente ni que aceleren de forma que estos patinen, durante el periodo que dure el fragüe de la carpeta (10 a 15 días).

# Capítulo IV

## ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS CON CLORURO DE CALCIO

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA CAL

El calcio es la base del Cloruro Cálcico que normalmente se elabora mezclando caliza y ácido clorhídrico. El resultado de este sencillo proceso es un compuesto que por su versatilidad es esencialmente útil para fenómenos tan distintos como son la estabilización de carreteras. El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. Según Manuel Mateos de Vicente “el cloruro cálcico es uno de los agentes estabilizadores de suelos más económicos, siendo usado, por los beneficios que reporta, tanto en la construcción de capas de sub-base y base para autopistas y carreteras, como en capas de rodadura de caminos ordinarios de tierra. El cloruro, debe advertirse, no convierte un suelo en un material con las características del suelo cemento, por ejemplo, sino que origina cambios en el suelo que son a veces intangibles, pero que mejoran la estabilidad de los pavimentos y reducen el coste de la conservación”<sup>25</sup>.

A excepción de la lechada de cal y de las cales vivas granuladas (granos < 6mm), la mayoría de las cales, utilizadas para la estabilización, se presentan en forma de polvo seco. Las cales utilizadas en la estabilización de suelos son cales aéreas cálcicas (CL), llamadas así porque endurecen con el CO<sub>2</sub> presente en el aire, y compuestas principalmente por óxido e hidróxido de calcio y de magnesio, sin adición de materiales puzolánicos e hidráulicos. Para la estabilización de suelos, se emplean las siguientes cales aéreas<sup>26</sup>.

- Cales vivas: Cales aéreas constituidas principalmente por óxido de calcio (CaO) y de magnesio (MgO), producidos por la calcinación de caliza.

---

<sup>25</sup> MATEOS DE VICENTE, Manuel. “Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras”; pag. 44.

<sup>26</sup> SAMPEDRO RODRÍGUEZ, Ángel. Tratamientos de Suelos con Cal. Planteamiento General, Diseño y Control de Calidad; pág. 5.

- Cales apagadas o hidratadas: Cales aéreas, cálcicas resultantes del apagado controlado de las cales vivas. Están compuestas principalmente por hidróxido de calcio [Ca (OH)<sub>2</sub>].

Dos son los aspectos que más negativamente pueden influir en la estabilización de suelos con cal: su contenido en sulfatos solubles y en materia orgánica. Con respecto al contenido de materia orgánica, esta puede inhibir las reacciones puzolánicas, retardando los efectos de la cal sobre el suelo. Pero, por otro lado, la mezcla del suelo con la cal permite eliminar esta materia orgánica. Por lo tanto, en el caso de suelos con porcentajes excesivos de esta, conviene sobre dosificar la cal necesaria para eliminar la materia orgánica presente. El contenido de sulfatos solubles, bien por su existencia en el propio terreno, o bien por ser aportados por las aguas subterráneas existentes, puede afectar la estabilización mediante la reacción de los sulfatos solubilizados en el agua con los aluminatos cálcicos hidratados, producidos por la reacción puzolánica entre el suelo y la cal, formando Etringita (trisulfoaluminato cálcico), muy expansiva, que puede llegar a romper las capas ya extendidas y compactadas. En el ataque por sulfatos, el agua constituye un elemento esencial para el mismo. Así, el agua presente en el material estabilizado suelo-cal puede ser insuficiente para disolver la cantidad necesaria de sulfato, de forma que no exista ataque apreciable aún con grandes cantidades de sulfatos, a menos que haya una aportación suficiente de agua desde el exterior.

## **4.2. PROPIEDADES DEL CLORURO DE CALCIO**

El cloruro cálcico es una sal deliquescente; es decir, puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores. La propiedad del cloruro cálcico de retener el agua de la solución es beneficiosa durante el proceso de compactación. Al evaporarse el agua con más dificultad, se requieren menos pasadas con la cisterna para mantener la humedad cercana a la óptima para el esfuerzo de compactación usado. Esto es beneficioso en regiones áridas, donde escasea el agua. La solubilidad del cloruro de calcio es de 60 gr aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 0° C, o de 159 gr aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 100° C. Se ha demostrado que con la adición de cloruro de calcio disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas, pero hay autores que inclusive aseguran que la película de agua que rodea a las partículas se ve eléctricamente reforzada

con la adición del cloruro de calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente.<sup>27</sup>

Una solución de cloruro tiene una presión de vapor más baja que el agua pura, por lo que las moléculas de agua en la solución se evaporan más lentamente que las moléculas del agua pura. Debido a estas propiedades es por lo que se usa el cloruro como paliativo del polvo. La humedad que imparte la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar. Al perderse menos áridos se realiza una economía importante en la conservación de los caminos.<sup>28</sup>

En el caso de las carreteras estabilizadas con Cal; se ha encontrado un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5 a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo. Sin embargo, existen datos que reportan disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga cal. El cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, pudiéndose mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante un día de calor seco —lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo las carreteras a nivel de afirmado —, lo cual es aceptable para carreteras con tránsito muy ligero. Entre las principales limitaciones para el empleo del cloruro de calcio, se tienen: El medio ambiente debe tener una humedad relativa superior al 30%, los minerales deben pasar la malla 200 y el nivel freático no se debe encontrar a distancias que provoquen emigración de la cal.

### **4.3. APLICACIONES DE LA CAL**

La estabilización de suelos (suelo-cal) se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza se compone fundamentalmente de óxido cálcico (cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal apagada). Este método de estabilización con cal se utiliza con doble propósito; mejorar la resistencia o capacidad de soporte (CBR) del suelo y reducir su plasticidad.

---

<sup>27</sup> GARNICA ANGUAS, Paul et al. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres; págs. 11 - 12.

<sup>28</sup> MATEOS DE VICENTE, Manuel. "Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras"; pag. 45.



**Imagen 4.** Evaporación producida en un suelo completamente encharcado al extender cal viva.

**Fuente:** Tratamientos de suelos con cal, Chile 2005.

El cloruro de calcio también es usado como producto para el tratamiento antideslizante. Si bien es cierto el cloruro de calcio es una sal para carretera buena para el tratamiento antideslizante en invierno; puede ser aun mejor humedeciendo el cloruro de sodio con cloruro de calcio, la nieve y el hielo se funden con mayor rapidez, se reduce el riesgo de nueva congelación y la sal para carretera es eficaz a temperaturas de hasta 20 grados negativos. También es posible eliminar totalmente el uso de cloruro de sodio y tratar la carretera únicamente con cal, requiriéndose solamente pequeñas cantidades para conseguir un resultado eficaz. Además utilizando sólo Cloruro Cálcico también se reduce la carga total de cloruro, lo que obviamente es positivo para el medio ambiente. Cuando el viento se lleva el polvo, también desaparecen las partículas finas que consolidan la carretera, lo que se traduce en baches, huellas de rodadura y corrugaciones; lo cual causa que la carretera empeora paulatinamente al mismo tiempo que la seguridad del tráfico; para contrarrestar este problema, se usa el cloruro de calcio como agente para combatir el polvo. El cloruro de calcio atrae la humedad del aire y del suelo y se transforma en una solución que liga el

agregado fino con el agregado grueso. El resultado es una carretera de afirmado segura para el tráfico y rentable con una larga vida útil.



**Imagen 5.** Aplicación de la Lechada de Cal a la Carretera

**Fuente:** Manual de estabilización de suelo tratado con cal.

#### **4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTOS CON CAL**

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

En el caso de suelos arcillosos con exceso de humedad, la adición de cal viva disminuye el contenido de agua por la acción combinada del aporte de producto seco, consumo del agua necesaria para hidratarse y formar hidróxido cálcico y evaporación de agua debida a la reacción anterior la cual es fuertemente exotérmica. De esta forma, el aporte de un 1 % de cal viva puede disminuir el contenido de humedad del suelo en un 4 ó 5 %. Si a ello le sumamos el efecto de aireación y volteo de un material procedente de un préstamo, el valor de la disminución puede llegar al 7 %. El tratamiento de suelos arcillosos con cal viva o

hidratada en cualquier obra de movimiento de tierras: laderas, terraplenes, explanadas, firmes, plataformas, etc., correspondiente a cualquier tipo de infraestructura: viales, aeropuertos, ferrocarriles, etc., permite obtener una serie de ventajas técnicas y económicas que citaremos a continuación:

- Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles en la carretera, disminuyendo la necesidad de préstamos y vertederos. Este aspecto, además de disminuir las afecciones medioambientales, disminuye los costes del movimiento de tierras, incidiendo especialmente en el transporte de materiales y en el tiempo de ejecución.
- La reducción del plazo de ejecución viene determinada también por la rapidez de las reacciones suelo-cal y el efecto secante producido. El Índice de Plasticidad disminuye notablemente y el suelo se vuelve más friable, aumentando inmediatamente su trabajabilidad. Además, el empleo de cal viva ayuda a secar rápidamente los suelos húmedos, facilitando su compactación.
- El empleo de cloruro de calcio incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su índice C.B.R en el tiempo. También aumenta las resistencias a tracción y a flexión. Por lo tanto, la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y las posibilidades de fallo durante su vida útil.
- Otra ventaja muy importante de la estabilización con cloruro de calcio frente al empleo de otros conglomerantes, es que no presenta un fraguado rápido, lo cual permite una gran flexibilidad en la organización de las distintas fases de ejecución: mezcla, extendido, compactación, etc.

Por el contrario, si la humedad de los suelos se encuentra por debajo de la óptima, puede ser aconsejable aplicar la cal en forma de lechada, aportando la cal y el agua necesarias en una sola operación. La cal en forma de lechada es la suspensión de cal apagada en agua. Su empleo en tratamiento de suelos permite por un lado, evitar el polvo producido durante el extendido de la cal y por otro, controlar mejor la humedad de los suelos secos. Algunas ventajas y desventajas de aplicar la lechada de cal como agente estabilizador son los siguientes:

- **Ventajas:**
  - Aplicación libre de polvo.

- Es más fácil lograr la distribución.
- Se aprovecha la aplicación por rociado.
- Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.

- **Desventajas:**

- Velocidad lenta de aplicación.
- Costos más altos debido al equipo extra requerido.
- Puede no ser práctico en suelos muy mojados.
- No es práctico para secar.

## **4.5. MEJORAS EN EL SUELO ESTABILIZADO CON CAL**

El cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable. Se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, pudiéndose mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante un día de calor seco, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo. La estabilización de carreteras con cal, cambia considerablemente las características de la misma, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua. La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán. En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 -75 $\mu$ m- y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

Como la cal puede ser utilizada para tratar suelos de distintos tipos, el primer paso en la evaluación de las opciones de tratamiento del suelo es identificar claramente el objetivo.

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en las siguientes<sup>29</sup>:

- I. Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- II. Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- III. Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- IV. La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- V. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- VI. Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- VII. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR) en el tiempo.
- VIII. Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- IX. Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.



---

<sup>29</sup> Citado en: Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito; págs. 121s.

### **Imagen 6.** Camino rehabilitado con tratamiento de Cal.

**Fuente:** Quimpac, 2008.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en peso.
- b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

## **4.6. POLÍTICAS DE USO DE LA CAL**

La técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del contratista, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua. Los factores siguientes deberán ser considerados tanto por ingenieros como por contratistas en el diseño y la construcción de caminos estabilizados con cal.<sup>30</sup>

**Mantenimiento de Tráfico:** La solución ideal al problema de mantener el tráfico durante la construcción de estabilización con cal es desviar el tráfico del área de trabajo hasta que una parte de la superficie de rodadura haya sido aplicada. Si el tráfico debe ser acomodado durante el curado y antes del uso de la superficie de rodadura, existe una menor probabilidad de daño a la capa estabilizada si el número y el peso de vehículos pueden ser reducidos al mínimo. Aunque los camiones que llevan cargas de 25 toneladas puedan ser soportados adecuadamente por una base de arcilla-cal bien compactada con un día de curado, las cargas muy pesadas pueden causar hundimientos localizados en bases recién compactadas. Tal hundimiento por lo general revela una compactación inadecuada. Estos ahuellamientos o puntos débiles deben ser re trabajados y re compactados.

**Necesidad de capa de rodadura:** Todas las bases estabilizadas con cal requieren una superficie de rodadura o al menos una imprimación bituminosa porque una base estabilizada con cal sin protección tiene una resistencia pobre a la acción abrasiva del tráfico continuo. Caminos de transporte de construcción de acceso temporal son una

---

<sup>30</sup> NACIONAL LIME ASSOCIATION. Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, Estabilización y Modificación con Cal; págs. 27 – 29.

excepción potencial. Sin embargo, si estos caminos deben ser utilizados pesadamente más allá de un año, se recomienda una imprimación.

**Limitaciones Climáticas:** La estabilización con cal requiere tiempo y un clima cálido para que se endurezca adecuadamente. La regla general es que la temperatura del aire debe ser de 40 grados Fahrenheit (60 grados centígrados) a la sombra y más, para la estabilización con cal. Cuando el uso de cal es únicamente para secar suelos y no para la estabilización permanente, la operación se puede llevar a cabo en climas más fríos. Sin embargo, en ningún caso se debe de aplicar cal a suelos congelados.

**Contingencias de clima frío:** Cuando se dan heladas prematuras o los trabajos se retrasan y se desarrollan entrado el invierno, el daño de una helada puede ser reducido con los siguientes procedimientos:

1. El día siguiente de la helada, vuelva a compactar la base tratada con cal. La experiencia ha enseñado que heladas posteriores e intermitentes, tienen un efecto mínimo en la base. La primera helada normalmente causa un poco de “arrugamiento” o distorsión en la pulgada superior de la base.
2. Si ocurren descongelamientos de primavera como resultado del atraso de la construcción en el otoño, las secciones dañadas pueden ser trabajadas y compactadas nuevamente, y volverlas secciones permanentes y durables. La mayoría de la cal todavía está activa y “libre”, reaccionando fácilmente con el calor de la primavera. En el trabajo de nuevo de los suelos, puede ser deseable añadir cal para compensar una posible disminución en el pH de de la mezcla.
3. En el evento que suceda un cierre completo del Proyecto por el invierno, las subrasantes recientemente estabilizadas pueden de ser protegidas con una capa de material apropiado, por ejemplo material de préstamo.

**Flexibilidad de Construcción:** La flexibilidad en la construcción también es posible porque las mezclas de suelo-cal pueden ser re trabajadas si las contingencias causan retrasos mientras la estabilización con cal está en progreso. Esto es cierto aún después de que la acción cementante o endurecimiento haya iniciado.

**La lluvia no es perjudicial:** Durante las lloviznas, la extensión de la cal, la mezcla y la compactación pueden seguir su operación normal. La extensión de cal seca utilizando una moto niveladora bajo la lluvia puede ser difícil si no se hace rápidamente, ya que la cal se humedece. También, la lluvia puede provocar pérdida de alcalinidad si la cal no está contenida en el suelo escarificado y rápidamente incorporada en el mismo. Sin embargo, una vez que la cal ha sido mezclada con el suelo, las lloviznas reducen la cantidad de agua que se requiere rociar para la compactación. Después de la compactación, la capa tratada con cal es impermeable a la humedad y el agua de lluvia escurre en forma similar a un camino pavimentado. Esto significa que aún con lluvias fuertes, por lo general sólo se dan retrasos mínimos antes de que la capa de rodadura pueda ser aplicada (o en el caso de la estabilización de subrasante, la capa de base o subbase colocada).

**Precauciones de seguridad al utilizar cal:** Las directrices de seguridad que se mencionan a continuación son generales.

- 1. Seguridad del trabajador.** La cal, en particular la cal viva, es un material alcalino que es reactivo en presencia de humedad. Los trabajadores que manipulan cal deben ser entrenados y utilizar el equipo protector apropiado. Las aplicaciones en suelos pueden crear la exposición al polvo de cal a través del aire, lo que debería ser evitado.
- 2. Riesgos para los ojos.** La cal puede causar la irritación severa de los ojos o quemaduras, incluyendo daño permanente. La protección ocular (gafas protectoras químicas, gafas de seguridad y/o careta) debería ser utilizada donde exista un riesgo de exposición a la cal. Los lentes de contacto no se deben utilizar mientras se trabaja con cal.
- 3. Riesgos para la piel.** La cal puede causar irritación y quemaduras en la piel sin protección, especialmente en presencia de humedad. El contacto prolongado con la piel sin protección debe evitarse. Se recomienda la utilización de guantes protectores y ropa que cubra totalmente brazos y piernas. Se debe prestar cuidado especial con la cal viva porque su reacción con la humedad genera el calor suficiente para causar quemaduras.
- 4. Riesgos de inhalación.** El polvo de cal es irritante si se inhala. En la mayoría de casos, las mascarillas anti polvo proporcionan la protección adecuada. En situaciones de alta exposición, es apropiado contar con una mayor la protección respiratoria, dependiendo de

la concentración y el tiempo de exposición (consulte la MSDS para los límites de exposición aplicables).

5. Seguridad del Producto. Se debe tener cuidado para evitar la mezcla accidental de cal viva y agua (en cualquier forma, incluyendo sustancias químicas que contienen agua de hidratación) para evitar crear calor excesivo. El calor liberado por esta reacción puede encender materiales combustibles o causar daño térmico a propiedades o personas.

6. El polvo de cal puede ser removido de los vehículos utilizando trapos humedecidos con vinagre diluido. Después de la aplicación del vinagre diluido, los vehículos (sobre todo superficies de cromo) deben lavarse con agua.

## **4.7. PRODUCCION DE CLORURO DE CALCIO EN EL PERU (QUIM KD40)**

En el Perú, la producción del cloruro de calcio para su uso como estabilizador o como supresor de polvos, es un producto industrial desarrollado por QUIMPAC a partir de la reacción química del carbonato de calcio (caliza) con el ácido clorhídrico; dicho producto debido a su concentración de 40 % —estado líquido— comercialmente es conocido como QUIM KD40. La síntesis del QUIM KD40 tiene como complemento la participación de aditivos que permiten darle al producto final el aspecto, equilibrio y la calidad requeridos para cumplir eficazmente con las aplicaciones a las que está dirigido.

### **4.7.1. Usos**

- Industria minera. Como controlador de polvos, en lixiviación, como aglomerante.
- Industria de la construcción e ingeniería civil. Como acelerador del fraguado del cemento. Como estabilizador de suelos en la construcción de vías.
- Industria de petróleo.
- Industria Química. En el tratamiento de agua. Como refrigerante.
- Agricultura. Como fertilizante.

### **4.7.2. Dosis**

Teniendo en cuenta el tipo de transito, la dosis recomendada varía de la siguiente manera:

- - Transito pesado: 4 a 5 Kg por metro cuadrado.
- - Transito liviano: 2 a 3 Kg por metro cuadrado.

### 4.7.3. Gradación del Suelo

Los estudios realizados y la amplia experiencia obtenida en campo han demostrado que tanto la gradación tipo A como la gradación tipo B ofrecen excelentes resultados con el Quim. KD 40, esta gradación se refiere a la composición de la carpeta de rodadura, es decir la proporción de materiales finos y gruesos que debe tener. Existen dos modalidades, las cuales deben contener un índice de plasticidad comprendida entre 4 y 10 %

**Cuadro 9.** Gradación del Suelo

Malla Serie Americana	A (% Pasa)	B (% Pasa)
1	100	100
$\frac{3}{4}$	85-100	70-100
$\frac{3}{8}$	65-100	50-100
Nº 4	55-85	40-85
Nº 10	40-70	35-70
Nº 40	24-45	20-45
Nº 200	10-25	10-30

**Fuente:** QUIMPAC, 2009.

### 4.7.4. Tipo de Servicio

Para la dosificación del cloruro de calcio existen dos modalidades de servicios, los cuales son:

- Dosificación de Quim. KD- 40 con supervisión de Quimpac S.A.
- Dosificación por cuenta del cliente.

### 4.7.5. Beneficios

Los beneficios que ofrece la aplicación de cloruro de calcio (producto Quim. KD- 40) son los siguientes:

- Vías con presentación similar al asfalto.
- Eliminación de contaminación ambiental.
- Seguridad de carga de transportes de carga y pasajeros.
- Incremento de capacidad de soporte del suelo (CBR) en el tiempo.

- Reducción del mantenimiento de las vías.

#### **4.7.6. Maquinarias Requeridas para la Aplicación del QUIM KD-40**

Las maquinarias requeridas para la aplicación de cloruro de calcio (producto Quim. KD-40) son los siguientes:

- Motoniveladora
- Cisterna de agua
- Maquina compactadora

#### **4.7.7. Procedimiento**

El procedimiento general a seguirse para aplicar cloruro de calcio (producto Quim. KD-40) como agente estabilizador de las carreteras no pavimentadas; sugiere las siguientes etapas:

- Escarificación del terreno
- Humedecimiento del tramo
- Primera dosificación del Quim. KD- 40
- Mezclado o batimiento del suelo con el producto.
- Compactación.

#### **4.7.8. Mantenimiento**

Luego de la aplicación del producto, el mantenimiento recomendado depende de los resultados de la aplicación ya que cada suelo responde en forma diferente. En los casos de tránsito liviano, se recomienda reponer solo humedad (regado con agua). La adición del QUIM KD 40 es posterior y en dosis llamadas de mantenimiento: 1ª 1,5 Kg por m<sup>2</sup>. Si bien es cierto que la permanencia del producto con los agregados es indeterminada, su pérdida se motiva cuando la carpeta permanece inalterable, salvo que esta se vea expuesta a una severa inundación u otra forma de fenómeno natural. El producto no se pierde por acción del medio ambiente. Por efecto del sol pierde agua, pero al humectarse con la garúa, neblinas costeras o un riego suave con agua recupera sus cualidades y evita la pérdida de finos. En los casos de pérdida fuerte de agregado, se recomienda su reposición

según la gradación sugerida, así como la adición de Quim. KD 40 en la proporción original.

## Capítulo V

### ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS CON CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO (BISCHOFITA)

#### 5.1. DESCRIPCIÓN DE LA BISCHOFITA

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal cuya fórmula química es  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , y tiene la forma de cristales de color blanco. También recibe el nombre químico de Bischofita. Es una sal de magnesio obtenida de salares cuya composición es Cloruro de Magnesio hexahidratado, es utilizada como estabilizador químico de suelos ya que reduce el deterioro superficial de las carpetas granulares de rodado, como también controla la emisión de polvo.

La Bischofita o Sal de Magnesio, es un compuesto químico natural que facilita la captación y retención de agua en zonas semidesérticas, cuya composición química es la presentada en la siguiente tabla<sup>31</sup>:

**Cuadro 10.** Composición Química de la Bischofita

<b>Componentes Principales</b>	
Cloro	29,0 – 32,8%
Magnesio	10,0 – 12,8%
Agua	50,0 – 55,0%
<b>Componentes Menores</b>	
Sodio	0,5 -2,8%
Sulfato	0,0 – 2,0%
Potasio	0,3 – 3,8%
Litio	0,2 – 1,1%

<sup>31</sup> SAAVEDRA CUEVAS, Ximena. Aplicación de la Bischofita a Caminos Costeros (adaptación)

Boro	0,1 – 0,5%
------	------------

**Fuente:** Aplicación de la Bischofita a Caminos Costeros, 2006.

## 5.2. PROPIEDADES DE LA BISCHOFITA

Los componentes de la Bischofita hacen que este producto presente propiedades y cualidades únicas a diferencia de otros estabilizadores químicos, además es 100% natural. A continuación se describen sus propiedades más importantes:

**Higroscopicidad y deliquesencia:** Es una sustancia higroscópica, es decir tiene la capacidad de absorber y retener la humedad de la atmósfera o suelo circundante —Capta humedad del medio ambiente a partir de humedades relativas superiores al 32%—. Además, es deliquescente, esto quiere decir que al absorber la humedad del medio ambiente se disuelve en esta humedad formando una solución líquida. Es un compuesto altamente higroscópico obtenido como subproducto de la elaboración de litio. La dosis de aplicación para estabilizados va entre 3% a 5% (aproximadamente 60 a 100 ton/km) dependiendo del IP del material granular, pudiendo ser aplicado en carpetas sin plasticidad. El producto es altamente soluble en agua pudiendo disolver hasta 1,5 kilos por litro de agua, por lo que es recomendada su aplicación como riego. Para controles de polvo superficiales se emplea una dosis de 3 kg/m<sup>2</sup>.<sup>32</sup>

**Presión de vapor menor a la del agua:** La presión de vapor de soluciones saturadas con Bischofita es considerablemente menor a la del agua. Esto significa que la tasa de evaporación del agua de soluciones con Bischofita es menor que para el agua pura.

**Tensión superficial mayor a la del agua:** Esto es importante en los suelos, porque la película de agua que rodea los granos es como un puente elástico que unen las partículas adyacentes, por lo tanto, las sales incrementan la resistencia de esta unión, haciendo que sea más difícil la separación de los granos.

**Temperatura de congelamiento inferior a la del agua:** Esta propiedad permite que se utilice en calles y carreteras como anticongelante y para derretir el hielo.

---

<sup>32</sup> CAMPOS DINAMARCA, Gabriel y ESPINOSA ORELLANA, Esteban. “Análisis comparativo de la eficiencia de supresores de polvo mediante el uso del equipo DUSTMATE y el efecto económico para la conservación rutinaria y periódica de carpetas granulares”; pág. 163.

### 5.3. APLICACIONES DE LA BISCHOFITA

La principal aplicación de la Bischofita es el uso que se le da como estabilizador de caminos no pavimentados; razón por la cual y basado en la experiencia acumulada a la fecha, RoadMag permite estabilizar casi cualquier tipo de suelo. Sin embargo, se obtiene un mejor desempeño del producto con suelos que poseen estabilidad mecánica ( $CBR > 50-60\%$  saturado o no sumergido según requerimientos de proyecto), además de cumplir ciertos requerimientos de granulometría y plasticidad.<sup>33</sup>

Otro uso que se le da a la Bischofita es la de supresor de polvo en caminos no pavimentados —principalmente en las carreteras a nivel de afirmado—, aunque también puede ser aplicada en grandes extensiones de tierra, tales como estacionamientos, canchas de acopio y otros. RoadMag suprime el polvo manteniendo húmeda la superficie del camino, esto se debe a que es una sustancia muy higroscópica, es decir, tiene la habilidad de absorber la humedad del ambiente. En zonas con suficiente humedad, RoadMag absorbe y retiene el agua de la atmósfera y suelo circundante para controlar efectivamente el polvo liberado de la superficie de rodado. En climas muy áridos donde la humedad es demasiado baja, probablemente será necesario aplicar riegos ocasionales de agua sobre el área tratada con la finalidad de rehidratar RoadMag. Cada superficie tratada reacciona un poco diferente, dependiendo de las condiciones climáticas locales y de las características del tránsito.<sup>34</sup>

El polvo consiste en pequeñas partículas llevadas por corrientes de aire, formados en su mayoría por desintegración o fractura de materiales sólidos. Según estimaciones anualmente se acumulan entre 2.000 y 3.000 millones de toneladas de polvo en la atmósfera. Las principales fuentes de polvo están en la erosión eólica, terremotos y volcanes, minería, agricultura y actividades industriales. El polvo es clasificado por el tamaño en 2 categorías primarias:

Polvo inhalable (PM10): Es aquella fracción de polvo que entra en el cuerpo, pero es atrapado en la nariz, la garganta, y vías respiratorias superiores. La medida del diámetro de este polvo es aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .

---

<sup>33</sup> THENOUX, Guillermo y VERA, Sergio. Guía para la Aplicación de ROADMAG como Estabilizador de Caminos no Pavimentados; pagina de resumen.

<sup>34</sup> THENOUX, Guillermo y VERA, Sergio. Guía para la Aplicación de ROADMAG como Supresor de Polvo en Caminos no Pavimentados; pagina de resumen.

Polvo respirable (PM 2,5): Son aquellas partículas bastante pequeñas para penetrar la nariz y el sistema superior respiratorio y profundamente en los pulmones. Las partículas que penetran superan los mecanismos de despacho naturales del cuerpo y tienen mayor probabilidad de ser conservadas en el organismo.

Las partículas PM10 y PM2.5 pueden causar problemas a la salud. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta por algunos elementos tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos), las partículas PM2.5 pueden producir tos y dificultad para respirar, agravar el asma, provocar daño a los pulmones (incluyendo la disminución de su función y enfermedades respiratorias de por vida) y en casos extremos muerte en individuos con enfermedades de corazón y pulmón.

Los principales problemas asociados con la emisión de polvo son las siguientes:

- Alto riesgo de accidentes por mala visibilidad.
- Efecto en la salud y rendimiento de los trabajadores.
- Aumento del costo operacional de equipos.
- Polvo en suspensión que se traslada grandes distancias.
- Reducción de las velocidades de operación y funcionalidad los equipos.
- Continuos riegos de agua para mitigar parcialmente el polvo.
- Alta frecuencia de uso de los equipos de mantenimiento.
- Efecto sobre instalaciones contiguas.
- Reducción de efectividad en emergencias y operaciones de rescate.

## **5.4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS TRATADOS CON BISCHOFITA**

La Bischofita cumple un papel muy importante, en la estabilización de suelos, debido a que cuando se mezcla con suelos se producen mejoras en:

**Estabilidad Volumétrica:** Controla la expansión y contracción de muchos suelos, evitando originar presiones las cuales pueden ocasionar graves deformaciones.

**Resistencia:** El incremento de la resistencia se da a medida que transcurre el tiempo.

**Permeabilidad:** Mejora las características permeables, debido a que une las partículas y evita el flujo de agua.

**Compresibilidad:** Modifica la permeabilidad, altera las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

**Durabilidad:** Brinda resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico, de esta manera los problemas de durabilidad en las vías terrestres son menores.



**Imagen 7.** Carretera Chilena tratada con Bischofita

**Fuente:** Guía para la Aplicación de ROADMAG, 2003.

## **5.5. POLÍTICAS DE USO DE LA BISCHOFITA**

Las políticas de uso para el Roadmag o Bischofita está en función al criterio o referencia a tener en cuenta; por ejemplo, en cuanto a recomendaciones ambientales y de seguridad acerca del uso de la Bischofita, la Guía para la aplicación de Roadmag como Estabilizador de Caminos no Pavimentados se señala: “Al igual que en cualquier construcción de obras viales, la ubicación de las áreas destinadas a las instalaciones de faenas y plantas de producción, deberán ser estudiadas cuidadosamente por el Contratista con el objeto de

alejarse de aquellos sectores más sensibles al deterioro ambiental. La zona destinada al acopio de RoadMag no deberá encontrarse a menos de 10 m. de cualquier tipo de canalización de agua. Al término de la faena se deberá retirar cualquier sobrante del acopio de Bischofita. Se recomienda además tener en consideración los siguientes aspectos ambientales y de seguridad”<sup>35</sup>:

- Cumplir normativas para la explotación de los sitios de empréstito para la extracción de áridos.
- Evitar el vertido de material durante el transporte.
- Proveer señalizaciones de acuerdo a normativas en todos los lugares utilizados frecuentemente por los vehículos de la obra y por proveedores que se encuentren en el perímetro y/o accesos a la obra.
- Diseñar, señalizar y conservar desvíos dentro del sector de la construcción, acorde con normativas vigentes o mejor.
- Retiro de obra, instalaciones y retiro de señalización provisoria acorde con normativas vigentes o mejor.
- Cumplir normativas de seguridad e higiene industrial.

En cuanto a los efectos negativos de la Bischofita en la salud de las personas se refiere; se tiene<sup>36</sup>:

- La inhalación de polvo en suspensión puede irritar la boca, nariz y otros tejidos del sistema respiratorio y causar tos y estornudos. Los síntomas generalmente se alivian cuando termina la exposición al producto.
- Una sobreexposición aguda causa irritación de la piel y ojos.
- La inhalación de humos por descomposición (sobre 116°C) puede causar fiebre metálica. Los síntomas de esta fiebre son escalofríos, tos, fatiga, dolor al pecho, dolor muscular y un aumento de glóbulos blancos.

---

<sup>35</sup> THENOUX, Guillermo y VERA, Sergio. Guía para la Aplicación de ROADMAG como Estabilizador de Caminos no Pavimentados; pág. 4.

<sup>36</sup> SALMAG. Hoja de Seguridad de RoadMag; pág. 2.

- La sobreexposición al contacto con la piel puede causar irritación y alergias. Las exposiciones prolongadas o repetidas pueden causar dermatitis (piel roja y seca). La absorción por la piel no es una vía de exposición común con el producto.
- Al contacto con los ojos puede irritar los ojos; los síntomas son dolor, exceso de lágrimas y enrojecimiento.
- La ingestión no es una vía de exposición laboral común. La ingestión aguda de este producto puede causar dolor abdominal, vómitos, diarrea; sin embargo, si se obstaculiza la eliminación por bloqueo intestinal u otra razón, este producto puede causar depresión del sistema nervioso central, falta de respuesta refleja, hipo calcemia (deficiencia de calcio en la sangre)
- Los efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo) pueden causar dermatitis (piel roja y seca)
- Puede afectar a personas con enfermedades respiratorias, a la piel y al sistema nervioso central.

En cuanto a los efectos para el medio ambiente se refiere, la Bischofita es estable en el medio ambiente. La pérdida accidental de grandes cantidades de producto podría incrementar la salinidad de cuerpos de agua (alterando temporalmente su equilibrio natural) y la salinidad de suelos, alterando el desarrollo de la vegetación.

En cuanto a los riesgos específicos se refiere, se tiene que la Bischofita calentado a temperatura de descomposición (116-118°C) emite vapor corrosivo de HCl y compuestos de magnesio. Calentado a sobre 300°C emite humos tóxicos de cloro gas.

En cuanto a recomendaciones para el Transporte y Almacenamiento; en la guía se señala que estas tienen el propósito de evitar el mal desempeño del producto debido a su inadecuada manipulación. Asimismo se especifica que el producto de RoadMag se comercializa a granel y eventualmente en maxisacos de 1,0 ton; cuando se comercializa a granel se debe tener en cuenta algunas precauciones durante el transporte y almacenamiento debido a la capacidad de RoadMag de atraer la humedad del ambiente; además, se debe tener especial cuidado de no contaminar el producto con material granular o aceites, los que pueden causar una reducción de la solubilidad del producto. En cuanto al transporte de RoadMag en camiones tolva se recomienda que la carga sea cubierta con una lona impermeable que impida el contacto de RoadMag con el aire, especialmente en zonas

donde la humedad relativa sea alta y llueva. Finalmente, para almacenar el producto de RoadMag en obra, se recomienda<sup>37</sup>:

- Depositar sobre un lugar seco y nivelado, en lo posible sobre una cubierta de polietileno de alta densidad u otro material similar.
- En zonas donde predomina una alta Humedad Relativa, el producto se debe cubrir con una lona impermeable.
- Cuando se prevea la posibilidad de precipitaciones (lluvia o nieve) o de tormentas de arena, el producto se deberá cubrir con un plástico o cualquier material impermeable.

## 5.6. CASOS DE ESTABILIZACION CON BISCHOFITA EN EL PERU

Entre algunos casos de estabilización de carreteras usando cloruro de magnesio tenemos:

- Estabilización de carpetas granulares y supresor de polvo en caminos vecinales en Ccarapongo, Lima.



**Imagen. 8.** Acabado de la superficie de rodadura en Ccarapongo.

**Fuente:** LIPLATA SA, 2008.

---

<sup>37</sup> *Ibíd.* págs. 4 – 5.

- Estabilización de carpetas granular en caminos de operación de la Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa.



**Imagen 9.** Tramo después de la aplicación de Roadmag.

**Fuente:** LIPLATA SA, 2007.

- Estabilización de caminos rurales de la Municipalidad de Virú en el departamento de La Libertad, Trujillo.



**Imagen 10.** Condición final de la vía.

**Fuente:** LIPLATA SA, 2007.

# Capítulo VI

## METODOLOGÍA

### 6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las sales más utilizadas para la estabilización de caminos no pavimentados son el cloruro de calcio y cloruro de magnesio. En el mundo existen diversas fuentes de sales, el cloruro de sodio se obtiene principalmente de rocas de sal (minas), y en menor medida de salmueras naturales y agua de mar. El cloruro de calcio y magnesio se obtiene mayoritariamente de depósitos subterráneos de salmueras, a través de un proceso de evaporación. Cuando las sales son utilizadas como estabilizadores químicos de suelos, el propósito es reducir el deterioro superficial de carpetas granulares de rodado, como también controlar las emisiones de polvo —ambos problemas se presentan con mayor frecuencia en caminos ubicados en la costa—.

El objetivo fundamental de estabilizar las carreteras no pavimentadas es prestar a los usuarios un servicio de calidad que satisfaga sus necesidades de movilidad. Para ello, una vez creada la infraestructura básica de las carreteras no pavimentadas, hay que realizar una serie de actividades de conservación que cumplan con los dos objetivos generales:

- Asegurar una circulación segura, fluida y cómoda; de manera que los costos globales de transporte sean lo menores posible.
- Preservar el valor patrimonial de las carreteras —no pavimentadas—, que forman parte de la riqueza de un país.

Un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta en la consecución de los objetivos antes señalados; es que el proyecto, la construcción y la conservación de una carretera están en estrecha relación; es decir, una carretera proyectada y construida adecuadamente para el tráfico que va a soportar tendrá probablemente unos gastos de conservación menores; por el contrario, una carretera proyectada y construida con un costo reducido, puede llevar a gastos de conservación excesivos e incluso prohibitivos.

En la determinación de las ventajas económicas, técnicas y medioambientales un aspecto importante a tenerse en cuenta es la ubicación geográfica del proyecto; para tal efecto, es de resaltar el hecho de que la presente investigación se realizó considerando solamente el caso de estabilización de carreteras ubicadas en la costa del Perú. La consideración del factor geográfico es muy importante a tenerse en cuenta debido a que cada zona geográfica presenta ciertas características y tendencias a conservar un determinado patrón climatológico, el cual a su vez nos permitirá inducir el tipo de aditivo estabilizador que se ajustara a dicho patrón climatológico y las condiciones atmosféricas a las que estará expuesta la carretera, una vez terminado el proceso de estabilización.

Finalmente, en cuanto a las prestaciones y solicitaciones que mediante la estabilización de las carreteras no pavimentadas se busca lograr, tenemos que estas varían desde la de mantener una adecuada resistencia de dicha carreta al deslizamiento de su superficie, de tal manera que el agente estabilizador proporcione una seguridad suficiente a los vehículos; pasando por la búsqueda de conservar una regularidad superficial acorde con el trazado de la vía y con las velocidades normales de recorrido, de manera que la rodadura sea cómoda para el usuario; hasta querer asegurar una resistencia estructural suficiente para el tráfico que ha de soportar dicha carretera.

## **6.2. PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Para el caso de la evaluación económica de los aditivos (Capítulo VII); los datos recogidos a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con el uso del cloruro de Calcio (Cal) así como de la experiencia de estabilización con Bischofita de la carretera Viru – Zaraqe en el departamento de La Libertad – Provincia de Viru y del estudio de mejoramiento de las vías de acceso al centro arqueológico Caral en Supe —departamento de Lima—; servirán para establecer los objetos de costo a tener en cuenta, dicho costos en forma general son reflejos de los costos de la construcción de la carpeta de rodado, el costo de estabilizar la carretera y el costo de mantener la carretera; todos ellos uniformizados en un costo unitario representativo de 1 m<sup>3</sup> de carretera estabilizada.

### **6.2.1. Costos Antes de Aplicar el Agente Estabilizador**

Los costos de estabilización de la carretera son aquellos que representan los costos desde el afirmado hasta la puesta a punto para la aplicación del estabilizador químico. El costo

unitario es el correspondiente a un metro cubico ( $e = 0,15m$ ) el cual constituye la compensación única por la extracción, zarandeo, transporte, carga y descarga del material desde la cantera o fuente del material, así como el mezclado, conformado, regado y compactado del material; además dicho costo constituirá compensación por toda mano de obra, equipos, materiales, herramientas e imprevistos necesarios para completar satisfactoriamente el trabajo. Dado que independientemente del tipo de agente estabilizador a usar, el proceso de puesta a punto para la aplicación del estabilizador químico es el mismo; luego, los costos antes de aplicación del agente estabilizador se pueden considerar el mismo para todos los casos de estabilización.

### **6.2.2. Costos Después de Aplicar el Agente Estabilizador**

El aplicar el agente estabilizador —Cloruro de Calcio o Bischofita— genera diferentes costos tanto en la primera aplicación como en el mantenimiento posterior. Es decir, luego de aplicar el estabilizador químico, el mantenimiento de la carretera estará sujeto a condiciones propias para cada agente estabilizador. En razón de lo acabado de señalar y con el fin de uniformizar los costos comparativos para cada tipo de estabilización; el afirmado con aditivo estabilizador de suelo, será medido en metros cúbicos compactados en su posición final, lo cual presupone que estén mezclado, conformado y compactado, de acuerdo con los lineamientos, rasantes, secciones y espesores indicados en los planos y estudios del proyecto y los costos en las que se incurre desde la primera aplicación del producto, hasta un horizonte de 6 años.

## **6.3. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS VENTAJAS TÉCNICAS**

Para el caso de la determinación de las ventajas técnicas de los aditivos (Capítulo VIII); los datos acerca de la efectividad del estabilizador químico, fueron recogidos a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con el uso del cloruro de Calcio (Cal) como estabilizadores para las carreteras no pavimentadas. Para el caso de la Bischofita, la efectividad del estabilizador se determino mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente; teniendo

como criterio de efectividad, la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas químicamente sobre las otras<sup>38</sup>.

### 6.3.1. Capacidad de soporte

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en el cuadro 10.

**Cuadro 11.** Capacidad de soporte - Métodos de ensayo

Propiedad	Método de ensayo
En suelos finos	
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2216. ASTM D 4767
Compresión triaxial consolidado	AASHTO T- 294
Modulo resiliente	ASTM D 4694
Deflectometría	

**Fuente:** Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

### 6.3.2. Trabajabilidad

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en el cuadro 11.

**Cuadro 12.** Trabajabilidad - Métodos de ensayo

Propiedad
Densidad máxima en laboratorio <sup>1)</sup>
Relación humedad/ densidad (ensayo proctor normal)
Relación humedad/ densidad (ensayo proctor modificado)
Densidad máximo y mínima suelos no cohesivos.
Densidad máxima en terreno <sup>1)</sup>
Densidad terreno (método cono de arena)

<sup>38</sup> Adaptado de la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

<p>Humedad</p> <p>Densidad por métodos nucleares</p> <p>Humedad por métodos nucleares.</p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Queda a criterio del proyectista determinar que valor mínimo de incremento en el nivel de compactación se puede considerar satisfactorio.</li> <li>2) Para suelos con particular de tamaño superior a ¾” y hasta un 30 % de partículas retenidas en el tamiz, se debe realizar una corrección de los pesos unitarios y humedades de acuerdo a ASTM D 4914.</li> <li>3) Se deben considerar las cantidades mínimas de muestra, que permitan obtener resultados representativos, de acuerdo a lo indicado en ASTM D 2216.</li> </ol>

**Fuente:** Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

### 6.3.3. Estabilidad bajo agua

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en el cuadro 12.

**Cuadro 13.** Estabilidad bajo agua - Métodos de ensayo

Propiedad	Método de ensayo
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2216.
Capacidad de soporte en suelos granulares	MTC E 132 <sup>3</sup>

**Fuente:** Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

### 6.3.4. Comportamiento ante ciclos hielo-deshielo

Esta propiedad se debe evaluar mediante el ensayo indicado en ASTM D 560, diseñado para mezclas suelo-cemento, con las consideraciones o modificaciones que correspondan a las condiciones específicas del proyecto.

### 6.3.5. Comportamiento ante cambios de humedad

Esta propiedad se debe evaluar mediante los ensayos indicados en Tabla 9. Para evaluar esta propiedad de desempeño en laboratorio, se pueden analizar los efectos sobre una probeta, en ciertas condiciones de confinamiento, antes y después del tratamiento con el

estabilizador químico, o bien, desecar una probeta inicialmente saturada. Interesa medir parámetros tales como: Deformabilidad bajo condición saturada, contracción por secamiento, hinchamiento o colapso por saturación, y presión por saturación en condición de expansión nula.

**Cuadro 14.** Evaluación del comportamiento ante cambios de humedad

<b>Propiedad</b>	<b>Método de ensayo</b>
Factor de contracción ( método del mercurio)	ASTM D 427
Consolidación unidimensional	ASTM D 2435
Expansión y contracción unidimensional y presión de poros de suelos limosos	ASTM D 3877
Potencial de contracción en suelos cohesivos	ASTM D 4546
Factor de contracción ( método de la cera o parafina solida)	ASTM D 4943

**Fuente:** Norma Técnica de Estabilizadores Químicos.

## **6.4. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL**

Para el caso de la determinación del impacto ambiental de los aditivos estabilizadores (Capítulo IX); los datos a tenerse en cuenta serán los recogidos a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con el uso del cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>), la experiencia de estabilización con Bischofita de la carretera Virú – Zaraqe en el departamento de La Libertad – Provincia de Virú, el estudio de mejoramiento de las vías de acceso al centro arqueológico Caral en Supe, el informe del proyecto para determinar el

comportamiento de RoadMag como Estabilizador de carpetas granulares y supresor de polvo en caminos de operación de la Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa, el informe del proyecto para determinar el comportamiento de RoadMag como estabilizador de carpetas granulares y supresor de polvo en caminos vecinales en Ccarapongo en de Lima y el informe del proyecto para determinar el comportamiento de RoadMag como supresor de polvo en caminos de ingreso y de operación de la Agroindustria IQF en la Ciudad de Ica.

## Capítulo VII

### EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS

#### 7.1. CONSIDERACIONES

En el presente capítulo se evalúa los costos para la estabilización con Cal y Bischofita de una carpeta de rodadura de 1 km de longitud considerado como un tramo de prueba; para luego comparar los costos que tendrían independientemente cada una de las alternativas; para tal efecto se cuantifican los costos de construcción y de mantención para conservarla en buenas condiciones de funcionalidad. La evaluación de los costos unitarios por producto se realizara considerando los casos más favorables y menos favorables para cada uno de los productos y considerando una carpeta de rodadura de espesor igual a 15 centímetros ( $e = 0,15\text{m}$ ) y ancho promedio de 7 metros.

Las premisas a tenerse en cuenta en la evaluación económica entre las dos alternativas con aditivo (Cal y Bischofita) y la alternativa sin aditivo, son:

- Se proyectara la carretera en un horizonte de 6 años como el tiempo de vida útil, luego de la cual con cualquiera de las alternativas se deberá renovar la carretera. En este periodo de vida útil, la carretera trabajara normalmente (lo cual es un indicador de que el diseño estuvo muy bien proyectado), cumpliendo una serviciabilidad normal durante el periodo de vida útil<sup>39</sup>. Los costos serán aquellos en que se incurre en etapas posteriores a la construcción de la carpeta de rodado.
- El sistema constructivo de toda la carpeta (sub rasante y sub base ) se desarrollara de forma optima, los materiales usados estarán sujetos a norma.
- La elevada altura de los rellenos no permitirá los desbordes de los canales de regadío que están a ambos lados de la carretera, evitando así el fenómeno de lavado de la sal de la base de la carretera.

---

<sup>39</sup> El tiempo de vida de la carpeta estabilizada con Cal o con Bischofita es indeterminado; es decir, una vez estabilizada la carpeta esta solo requiere mantenimiento usando fracciones de la dosis inicial.

- El nivel de precipitación en la zona no es tan elevado como para ocasionar una pérdida prematura de la sal de la carretera.
- La dosificación con cada uno de los agentes estabilizadores fue la adecuada (sujeto a norma técnica, manual de aplicación del producto y tipo de suelo).
- La humedad relativa (HR) será constante y no cambiará con el tiempo (HR= 60%).
- Los conceptos en los cuales los costos son iguales (no dependen del producto), no serán tomados en cuenta. Por ejemplo: El costo por poner señales de prohibición, obligación y advertencia (para mayor detalle ver anexo «A.3. Análisis de Precios Unitarios para Partidas con Costos Independientes del Tipo de Producto»).
- Debido a que el mantenimiento rutinario es de carácter preventivo y por tal razón se incluyen como parte de este; a las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras actividades; los costos por este tipo de mantenimiento no serán tomados en consideración. Por otro lado, el mantenimiento periódico si se tomara en cuenta y este es justamente el objeto de costo en el periodo de 6 años.

Para determinar los costos de mantención y de operación de las alternativas propuestas (Cloruro de Calcio y Bischofita al 70 y 90%); el escenario será el mismo para todos los casos, con valores presentes, es decir no se considera tasa de interés alguna. En el caso de la Bischofita, para la determinación de los costos se tomara en cuenta los rendimientos y costos unitarios por partidas resultado de la experiencia obtenida en la estabilización con dicho producto de una carretera en la provincia de Canta. El costo total lo conforman los costos fijos (mantenimiento rutinario) y los costos variables (producto y mantenimiento periódico).

Para poder comparar los costos de las alternativas —que tienen distinta duración de vida útil—, se contempla un período de análisis tal que al concluir dicho periodo; se tenga que renovar totalmente la carpeta de rodado —año en el cual el final de la vida útil de los estabilizadores coinciden—. El cálculo de los costos es en el horizonte de 6 años, el cual se escogió teniendo en cuenta la frecuencia de mantenimiento de las opciones (2 años para el caso de la Cal y cada 2 años para el caso de la Bischofita); para tal efecto, se evaluara los costos en los que se hubiera incurrido si se hubiera estabilizado dicha carretera con cada

uno de los dos productos químicos; luego, el volumen a considerar es el calculado en base a las dimensiones presentadas en dicho estudio.

En razón de lo acabado de señalar y teniendo como referencia el caso de la «Obra de Mejoramiento de las Vías de acceso al Centro Arqueológico Caral», se consideran los siguientes parámetros:

**Dimensiones:**

Longitud = 24,8 Km (24,96 Km según acta de evaluación de propuesta y otorgamiento de buena pro; Licitación pública N°CI - 315.2008 MTC/21-)

Ancho = 7,2 m

Espesor = 0,15 m

Superficie = 178 560 m<sup>2</sup>

Volumen = 26 784 m<sup>3</sup>.

## **7.2. COSTOS DE ESTABILIZACION**

Tanto la primera aplicación como las posteriores dosis del producto químico estabilizador usadas en el mantenimiento periódico, varían dependiendo del agente químico usado. Para la Bischofita el ratio de aplicación del producto varía de 70 a 100 Kg/m<sup>3</sup> —dependiendo del tipo de material afirmado, los análisis de suelos y el aporte salino de RoadMag que va de 3 a 5%—; para el caso del cloruro de calcio, el ratio de aplicación del producto varía en función al tipo de presentación del producto a usar; es decir, depende del tipo de cal (mezcla de suelo y cal, salmueras, lechada asfáltica, etc.) Las dosis de producto empleadas en el proceso de estabilización química busca asegurar la permanencia del producto en la carpeta, la cohesión entre finos y gruesos y la reducción total del polvo por largo tiempo; esta varían de producto en producto con la frecuencia de mantenimiento recomendada para la carretera ya estabilizada; así tenemos: Para el caso del cloruro de calcio —dependiendo de la pérdida de sales y el tipo de tránsito—, se estima un mantenimiento cada 2 años con adición de la mitad dosis inicial. El mantenimiento de las carpetas estabilizadas con RoadMag se realizara cada 2 años con adición de ¼ parte de la dosis inicial (DI).

**Tabla 1.** Producto químico estabilizador

	<b>Cal</b>	<b>Bischofita</b>
Precio por TM en planta (S/.)	420	690
Dosis Inicial (Kg/m <sup>3</sup> )	48	70 y 90
Dosis para el Mantenimiento (Kg/ m <sup>3</sup> )	½ DI	¼ DI
Frecuencia de mantenimiento	Cada 2 años	Cada 2 años
Frecuencia para volver a dosis inicial	Indefinido	Indefinido
Tiempo de vida útil (asumido)	6 años	6 años

**Fuente:** Elaboración propia con datos recogidos de LIPLATA y QUIMPAC

El cálculo de la cantidad de producto necesario para estabilizar la carretera sujeta a evaluación se realiza teniendo en cuenta el volumen de la carpeta (Bischofita), la superficie de la carpeta (Cloruro de calcio) y las dosis especificadas en la tabla 1; por ejemplo, la cantidad de Bischofita (70 Kg/m<sup>3</sup>) necesaria para la dosis inicial esta dado por:

$$DI = 26\,784\text{ m}^3 \cdot 70\text{ Kg/m}^3 = 1\,874,88\text{ Tm}$$

Luego, los resultados de evaluar y comparar los costos para cada una de las alternativas a lo largo del periodo de 6 años, son los presentados en la tabla 2 y en la tabla 3. En la determinación del costo final del producto puesto en obra, se tiene que considerar el factor distancia de la obra al punto de entrega del producto químico estabilizador; para el caso de la Bischofita, la empresa entrega el producto en su planta comercializadora de Lima; por otro lado, el cloruro de calcio se puede adquirir en la ciudad de Huacho; es así que teniendo en cuenta las distancias de Lima y Huacho hacia Caral, se establece el costo para la dosis inicial de Bischofita y cloruro de calcio respectivamente. Los datos específicos del análisis de costos para cada una de las alternativas consideradas, se presentan en las tablas 2, 3, y 4.

**Tabla 2.** Costos de estabilización con Bischofita (70 Kg/m<sup>3</sup>)

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	347,326.14
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	354,507.82
TOTAL	S/.2,173,391.40

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
AGUA	1,249.92	m3	0.20	Soles/m3	249.98
BISCHOFITA	1,874.88	t	620.00	Soles/t	1,162,425.60
TRANSPORTE PROMEDIO	1,874.88	t	2.00	Soles/km	3,749.76
TRASPORTE LIMA - CARAL	175.00	km			656,208.00

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.1,818,883.58
-------------------------------------	-----------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral  
 UBICACION : Supe - Barranca - Lima  
 T.C. : 3 Nuevos Soles

ESPESOR DE BASE : 0.15 m  
 ANCHO : 7.20 m  
 LARGO : 24,800.00 m  
 AREA TOTAL : 178,560.00 m2  
 DOSIFICACION : 70.00 Kg/m3  
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 26,784.00 m3  
 BISCHOFITA : 1,874.88 t  
 AGUA : 1,249.92 m3

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

<b>Partida</b>	01.00	OBRAS PROVISIONALES					
	01.01	CAMPAMENTO					
<b>Rendimiento</b>		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO		mes			1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

<b>Partida</b>	01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
		global					
<b>Rendimiento</b>					Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb			1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

<b>Partida</b>	02.00	PREPARACION DE CLORURO DE MAGNESIO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3	29.44	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.49	6.33	3.09 3.09
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	3.09	0.093 0.093
<b>Equipos</b>							
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3			und	2.00	0.49	3.75	1.83
RETROEXCAVADORA			hm	1.00	0.24	100.00	24.42 26.25

<b>Partida</b>	02.02	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3	36.84	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
OFICIAL			hh	1.00	0.24	7.32	1.79 1.79
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	1.79	0.054 0.054
<b>Equipos</b>							
CISTERNA DE 3000 gal			hm	1.00	0.24	131.30	32.06
MOTOBOMBAS DE 4"			und	2.00	0.49	6.02	2.94 35.00

<b>Partida</b>	03.00	CONFORMACIÓN DE BASE (15 cm)					
<b>Rendimiento</b>	290.00	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	9.87	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	2.00		0.06	6.33	0.35
							0.35
<b>Herramientas Manuales</b>		%MO			0.0300	0.35	0.010
							0.010
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP		hm	1.00		0.0276	175.00	4.83
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP		hm	1.00		0.0276	140.00	3.86
							8.69
<b>Subpartidas</b>							
SALMUERA PARA COMPACTACION		m3			0.0200	41.26	0.83
							0.83

<b>Partida</b>	05.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	2.00		80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD		und			6.0000	31.52	189.12
BANDERINES		und			3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD		glb			1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA		und			2.0000	61.46	122.92
							675.28

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE SUBPARTIDAS**

<b>Partida</b>	07.00	SALMUERA PARA COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	28.84	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3	39.31	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	1.00		0.28	6.33	1.76
							1.76
<b>Materiales</b>							
GASOLINA		gal			0.0015	12.84	0.02
							0.02
<b>Equipos</b>							
MOTOBOMBA DE 4"		hm	1.00		0.28	6.02	1.67
CISTERNA 3000 gl		hm	1.00		0.28	130.00	35.87
							37.54

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.** Costos de estabilización con Bischofita (90 Kg/m<sup>3</sup>)

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	371,030.67
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	378,212.35
TOTAL	S/.2,716,776.96

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
AGUA	1,607.04	m3	0.20	Soles/m3	321.41
BISCHOFITA	2,410.56	t	620.00	Soles/t	1,494,547.20
TRANSPORTE PROMEDIO	2,410.56	t	2.00	Soles/km	4,821.12
TRASPORTE LIMA - CARAL	175.00	km			843,696.00

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.2,338,564.61
-------------------------------------	-----------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral	ESPESOR DE BASE :	0.15 m
UBICACION : Supe - Barranca - Lima	ANCHO :	7.20 m
T.C. : 3 Nuevos Soles	LARGO :	24,800.00 m
	AREA TOTAL :	178,560.00 m2
	DOSIFICACION :	90.00 Kg/m3
	VOLUMEN A ESTABILIZAR :	26,784.00 m3
	BISCHOFITA :	2,410.56 t
	AGUA :	1,607.04 m3

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Partida	01.01	CAMPAMENTO					
Rendimiento		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO		mes			1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

Partida	01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
Rendimiento		global			Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb			1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

<b>Partida</b>	02.00	PREPARACION DE CLORURO DE MAGNESIO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	29.44	
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.49	6.33	3.09
							3.09
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	3.09	0.093
							0.09
<b>Equipos</b>							
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3			und	2.00	0.49	3.75	1.83
RETROEXCAVADORA			hm	1.00	0.24	100.00	24.42
							26.25

<b>Partida</b>	02.02	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	36.79	
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>							
OFICIAL			hh	1.00	0.24	7.32	1.79
							1.79
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	1.79	0.054
							0.054
<b>Equipos</b>							
CISTERNA DE 3000 GL			hm	1.00	0.24	131.30	32.06
MOTOBOMBAS DE 4" DE 6 HP			und	2.00	0.49	5.90	2.88
							34.95

<b>Partida</b>	03.00	CONFORMACIÓN DE BASE (15 cm)					
<b>Rendimiento</b>	290.00	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	9.88	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh		2.00	0.06	6.33	0.35
							0.35
<b>Herramientas Manuales</b>		%MO			0.0300	0.35	0.010
							0.010
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP		hm		1.00	0.0276	175.00	4.83
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP		hm		1.00	0.0276	140.00	3.86
							8.69
<b>Subpartidas</b>							
SALMUERA PARA COMPACTACION		m3			0.0200	41.26	0.83
							0.83

<b>Partida</b>	05.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh		2.00	80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD		und			6.0000	31.52	189.12
BANDERINES		und			3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD		glb			1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA		und			2.0000	61.46	122.92
							675.28

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE SUBPARTIDAS**

<b>Partida</b>	07.00	SALMUERA PARA COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	28.84	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3		40.90
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	1.00		0.28	12.06	3.35
							3.35
<b>Materiales</b>							
GASOLINA		gal			0.0015	12.84	0.02
							0.02
<b>Equipos</b>							
MOTOBOMBA DE 4"		hm	1.00		0.28	6.02	1.67
CISTERNA 3000 gl		hm	1.00		0.28	130.00	35.87
							37.54

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4. Costos de estabilización con Cloruro de Calcio**

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	338,431.39
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	345,613.07
TOTAL	S/.1,035,997.46

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
CLORURO DE CALCIO	1,285.63	t	411.00	Soles/t	528,394.75
TRANSPORTE PROMEDIO	1,285.63	t	3.00	Soles/km	3,856.90
TRANSPORTE HUACHO - CARAL	42.00	km			161,989.63

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.690,384.38
-------------------------------------	---------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral  
 UBICACION : Supe - Barranca - Lima  
 T.C. : 3 Nuevos Soles

ESPESOR DE BASE : 0.15 m  
 ANCHO : 7.20 m  
 LARGO : 24,800.00 m  
 AREA TOTAL : 178,560.00 m2  
 DOSIFICACION : 48.00 Kg/m3  
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 26,784.00 t  
 CLORURO DE CALCIO : 1,285.63 t

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Partida	01.00	OBRAS PROVISIONALES					
	01.01	CAMPAMENTO					
Rendimiento		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO		mes			1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

Partida	02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
Rendimiento		global			Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb			1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

<b>Partida</b>	03.00	CONFORMACIÓN DE BASE (15cm)					
<b>Rendimiento</b>	290.00	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	12.64	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh		2.00	0.06	6.33	0.35
<b>Herramientas Manuales</b>		%MO			0.0300	0.35	0.0105
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP		hm		1.00	0.0276	175.00	4.83
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP		hm		1.00	0.0276	140.00	3.86
CISTERNA 3000 gl		hm		1.00	0.0276	130.00	3.59
							12.28

<b>Partida</b>	04.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh		2.00	80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD		und			6.0000	31.52	189.12
BANDERINES		und			3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD		glb			1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA		und			2.0000	61.46	122.92
							675.28

**Fuente:** Elaboración propia

### **7.3. MANTENIMIENTO PERIODICO**

El mantenimiento periódico es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, de uno o más años y que tienen el propósito de preservar las características superficiales óptimas de la carretera; el mantenimiento periódico son actividades programadas cada cierto período, y están orientadas principalmente a la ejecución de labores de desencalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, etc. El costo por mantenimiento periódico incluye los costos de las obras provisionales, costos por conformación de carpeta (costo de alquiler de la moto niveladora 140 HP, por ejemplo), costos por preparación del producto (Estanque, Motobombas, Personal, etc.) y los costos por aplicación del producto (personal, uso del camión cisterna, etc.); estos costos variaran de acuerdo al producto químico estabilizador a usarse. Los costos de mantenimiento periódico para cada una de las alternativas consideradas se presentan en las tablas 5, 6 y 7.

### **7.4. COSTO DE ESTABILIZACION EN EL TIEMPO**

El costo de estabilización en el tiempo muestra el comportamiento de las alternativas en un horizonte de tiempo considerado (6 años para nuestro caso); dicho costo incluye el denominado costo de mantenimiento periódico (con una fracción de dosis inicial) y el costo de estabilización inicial. La comparación entre los costos totales en el tiempo para cada una de las alternativas consideradas se presentan en las tablas 8 y 9.

**Tabla 5.** Costos de mantenimiento Bischofita (70 Kg/m<sup>3</sup>)

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	115,963.52
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	123,145.20
TOTAL	S/.274,718.83

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
AGUA	104.16	m3	0.20	Soles/m3	20.83
BISCHOFITA	156.24	t	620.00	Soles/t	96,868.80
TRANSPORTE PROMEDIO	156.24	t	2.00	Soles/km	312.48
TRASPORTE LIMA - CARAL	175.00	km			54,684.00

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.151,573.63
-------------------------------------	---------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral  
 UBICACION : Supe - Barranca - Lima  
 T.C. : 3 Nuevos Soles

ESCARIFICAR : 0.05 m  
 ANCHO : 7.20 m  
 LARGO : 24,800.00 m  
 AREA TOTAL : 178,560.00 m2  
 DOSIFICACION : 17.50 Kg/m3  
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 8,928.00 m3  
 BISCHOFITA : 156.24 t  
 AGUA : 104.16 m3

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE PRECIO UNITARIOS**

<b>Partida</b>	01.00	OBRAS PROVISIONALES					
	01.01	CAMPAMENTO					
<b>Rendimiento</b>		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO			mes		1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

<b>Partida</b>	01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
<b>Rendimiento</b>		global			Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION			glb		1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

	02.00	PREPARACION DE CLORURO DE MAGNESIO						
<b>Partida</b>	02.01							
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3		29.44	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>		<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>								
PEON			hh	2.00	0.49		6.33	3.09
								3.09
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300		3.09	0.093
								0.093
<b>Equipos</b>								
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3			und	2.00	0.49		3.75	1.83
RETROEXCAVADORA			hm	1.00	0.24		100.00	24.42
								26.25

<b>Partida</b>	02.02	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO						
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3		36.84	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>		<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>								
OFICIAL			hh	1.00	0.24		7.32	1.79
								1.79
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300		1.79	0.054
								0.054
<b>Equipos</b>								
CISTERNA DE 3000 gal			hm	1.00	0.24		131.30	32.06
MOTOBOMBAS DE 4"			und	2.00	0.49		6.02	2.94
								35.00

<b>Partida</b>	03.00	PERFILADO Y COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	230.40	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	12.22	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.07	6.33	0.44
							0.44
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	0.44	0.013
							0.013
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP			hm	1.00	0.0347	175.00	6.08
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP			hm	1.00	0.0347	140.00	4.86
							10.94
<b>Subpartidas</b>							
SALMUERA PARA COMPACTACION			m3		0.0200	41.26	0.83
							0.83

<b>Partida</b>	05.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD			und		6.0000	31.52	189.12
BANDERINES			und		3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD			glb		1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA			und		2.0000	61.46	122.92
							675.28

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE SUBPARTIDAS**

<b>Partida</b>	07.00	SALMUERA PARA COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	28.84	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3		40.90
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	1.00		0.28	12.06	3.35
							3.35
<b>Materiales</b>							
GASOLINA		gal			0.0015	12.84	0.02
							0.02
<b>Equipos</b>							
MOTOBOMBA DE 4"		hm	1.00		0.28	6.02	1.67
CISTERNA 3000 gl		hm	1.00		0.28	130.00	35.87
							37.54

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6.** Costos de mantenimiento Bischofita (90 Kg/m<sup>3</sup>)

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	117,936.03
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	125,117.71
TOTAL	S/.319,998.10

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
AGUA	133.92	m3	0.20	Soles/m3	26.78
BISCHOFITA	200.88	t	620.00	Soles/t	124,545.60
TRANSPORTE PROMEDIO	200.88	t	2.00	Soles/km	401.76
TRASPORTE LIMA - CARAL	175.00	km			70,308.00

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.194,880.38
-------------------------------------	---------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral  
 UBICACION : Supe - Barranca - Lima  
 T.C. : 3 Nuevos Soles

ESCARIFICAR : 0.05 m  
 ANCHO : 7.20 m  
 LARGO : 24,800.00 m  
 AREA TOTAL : 178,560.00 m2  
 DOSIFICACION : 22.50 Kg/m3  
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 8,928.00 m3  
 BISCHOFITA : 200.88 t  
 AGUA : 133.92 m3

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE PRECIO UNITARIOS**

<b>Partida</b>	01.00	OBRAS PROVISIONALES					
	01.01	CAMPAMENTO					
<b>Rendimiento</b>		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO			mes		1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

<b>Partida</b>	01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
<b>Rendimiento</b>		global			Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION			glb		1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

<b>Partida</b>	02.00	PREPARACION DE CLORURO DE MAGNESIO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3	29.44	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.49	6.33	3.09 3.09
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	3.09	0.093 0.093
<b>Equipos</b>							
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3			und	2.00	0.49	3.75	1.83
RETROEXCAVADORA			hm	1.00	0.24	100.00	24.42 26.25

<b>Partida</b>	02.02	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO					
<b>Rendimiento</b>	32.76	m3/ DIA			Costo unitario directo por : M3	36.84	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
OFICIAL			hh	1.00	0.24	7.32	1.79 1.79
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	1.79	0.054 0.054
<b>Equipos</b>							
CISTERNA DE 3000 gal			hm	1.00	0.24	131.30	32.06
MOTOBOMBAS DE 4"			und	2.00	0.49	6.02	2.94 35.00

<b>Partida</b>	03.00	PERFILADO Y COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	230.40	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	12.22	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.07	6.33	0.44
							0.44
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	0.44	0.013
							0.013
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP			hm	1.00	0.0347	175.00	6.08
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP			hm	1.00	0.0347	140.00	4.86
							10.94
<b>Subpartidas</b>							
SALMUERA PARA COMPACTACION			m3		0.0200	41.26	0.83
							0.83

<b>Partida</b>	05.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD			und		6.0000	31.52	189.12
BANDERINES			und		3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD			glb		1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA			und		2.0000	61.46	122.92
							675.28

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE SUBPARTIDAS**

<b>Partida</b>	07.00	SALMUERA PARA COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	28.84	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3		40.90
<b>Descripción Insumo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>							
PEON		hh	1.00		0.28	12.06	3.35
							3.35
<b>Materiales</b>							
GASOLINA		gal			0.0015	12.84	0.02
							0.02
<b>Equipos</b>							
MOTOBOMBA DE 4"		hm	1.00		0.28	6.02	1.67
CISTERNA 3000 gl		hm	1.00		0.28	130.00	35.87
							37.54

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 7. Costos de mantenimiento con Cloruro de Calcio.**

**PRESUPUESTO**

ITEM	PARTIDAS	PARCIAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES	1,000.00
02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	5,000.00
03.00	AFIRMADOS	141,992.34
04.00	SEGURIDAD VIAL	1,181.68

SUB - TOTAL	149,174.02
TOTAL	S/.264,238.08

**MATERIALES**

	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS (SOLES)	UNIDAD	TOTAL
CLORURO DE CALCIO	214.27	t	411.00	Soles/t	88,065.79
TRANSPORTE PROMEDIO	214.27	t	3.00	Soles/km	642.82
TRANSPORTE HUACHO - CARAL	42.00	km			26,998.27

COSTO DE MATERIALES PUESTOS EN OBRA	S/.115,064.06
-------------------------------------	---------------

**DATOS GENERALES**

OBRA : Mejoramiento de la Carretera Supe - Caral  
 UBICACION : Supe - Barranca - Lima  
 T.C. : 3 Nuevos Soles

ESCARIFICAR : 0.05 m  
 ANCHO : 7.20 m  
 LARGO : 24,800.00 m  
 AREA TOTAL : 178,560.00 m2  
 DOSIFICACION : 24.00 Kg/m3  
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 8,928.00 t  
 CLORURO DE CALCIO : 214.27 t

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE PRECIO UNITARIOS**

<b>Partida</b>	01.00	OBRAS PROVISIONALES					
	01.01	CAMPAMENTO					
<b>Rendimiento</b>		mes			Costo unitario directo por : MES		1,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
CAMPAMENTO		mes			1.00	1,000.00	1,000.00
							1,000.00

<b>Partida</b>	02.00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION					
<b>Rendimiento</b>		global			Costo unitario directo por : GLB		5,000.00
<b>Descripción Insumo</b>		Unidad	Cuadrilla		Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>							
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb			1.00	5,000.00	5,000.00
							5,000.00

<b>Partida</b>	03.00	PERFILADO Y COMPACTACION					
<b>Rendimiento</b>	230.40	m3/DIA			Costo unitario directo por : M3	15.90	
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	0.07	6.33	0.44
<b>Herramientas Manuales</b>			%MO		0.0300	0.44	0.0132
<b>Equipos</b>							
MOTONIVELADORA DE 140 HP			hm	1.00	0.0347	175.00	6.08
RODILLO LISO VIBRATORIO DE 132 HP			hm	1.00	0.0347	140.00	4.86
CISTERNA DE 3000 GL			hm	1.00	0.0347	130.00	4.51
							15.45

<b>Partida</b>	04.00	SEGURIDAD VIAL					
<b>Rendimiento</b>	0.20	mes/DIA			Costo unitario directo por : MES	1,181.68	
<b>Descripción Insumo</b>			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>							
PEON			hh	2.00	80.00	6.33	506.40
							506.40
<b>Materiales</b>							
CONOS DE SEGURIDAD			und		6.0000	31.52	189.12
BANDERINES			und		3.0000	21.08	63.24
CHALECOS Y ACCESORIOS DE SEGURIDAD			glb		1.0000	300.00	300.00
TRANQUERA			und		2.0000	61.46	122.92
							675.28

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.** Comparación de costos en el tiempo de las alternativas Cloruro de Magnesio (70 kg/m<sup>3</sup>) vs Cloruro de Calcio

<b>CLORURO DE MAGNESIO (70 Kg/m<sup>3</sup>) VS CLORURO DE CALCIO</b>				
<b>AL COSTO DIRECTO</b>				
	<b>CLORURO DE MAGNECIO 70 KG/M3</b>		<b>CLORURO DE CALCIO</b>	
	<b>Costo Individual</b>	<b>Costo Acumulado</b>	<b>Costo Individual</b>	<b>Costo Acumulado</b>
Año 1	2'173.391.40	2'173.391.40	1'035,997.46	1'035,997.46
Año 2	274,718.83	2.448,110,66	264,238.08	1'300,235.54
Año 3	0.00	2'448,110,66	0.00	1'300,235.54
Año 4	274,718.83	2'722.829.06	264,238.08	1'564,473.62
Año 5	0,00	2'722.829.06	0,00	1'564,473.62
Año 6	274,718.83	2'997,547.90	264,238.08	1'828,711.70
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 2'997,547.90</b>		<b>S/. 1'828,711.70</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 9.** Comparación de costos en el tiempo de las alternativas Cloruro de Magnesio (90 kg/m<sup>3</sup>) vs Cloruro de Calcio

<b>CLORURO DE MAGNESIO (90 Kg/m<sup>3</sup>) VS CLORURO DE CALCIO</b>				
<b>AL COSTO DIRECTO</b>				
	<b>CLORURO DE MAGNESIO 90 KG/M3</b>		<b>CLORURO DE CALCIO</b>	
	<b>Costo Individual</b>	<b>Costo Acumulado</b>	<b>Costo Individual</b>	<b>Costo Acumulado</b>
Año 1	2'716,776.96	2'716,776.96	1'035,997.46	1'035,997.46

Año 2	319,998.10	3'036,775.06	264,238.08	1'300,235.54
Año 3	0,00	3'036,775.06	0.00	1'300,235.54
Año 4	319,998.10	3'356,773.15	264,238.08	1'564,473.62
Año 5	0,00	3'356,773.15	0,00	1'564,473.62
Año 6	319,998.10	3'676,771.25	264,238.08	1'828,711.70
<b>TOTAL</b>	<b>\$/ 3'676,771.25</b>		<b>\$/ 1'828,711.70</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

## Capítulo VIII

### VENTAJAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS

#### 8.1. TRABAJABILIDAD

En cuanto a la Trabajabilidad de la Bischofita se refiere, el producto funciona debido a que su alta higroscopicidad permite atraer y retener la humedad, aminorando de ese modo la pérdida de partículas finas del suelo y controlando la emisión de polvo. RoadMag aglomera las partículas finas produciendo superficies de rodado duraderas. Además provee resistencia a la acción abrasiva del tránsito debido a la formación de una cubierta en la superficie del camino producida por su cristalización. El cloruro de magnesio es muy corrosivo comparado con el cloruro cálcico.

Para el caso de la cal: En obra se aprecia que el suelo pierde su carácter pegajoso y toma un aspecto arenoso, mejorando enormemente su trabajabilidad y compactibilidad, mejorando también la capacidad portante. La modificación actúa tan rápidamente como se hace la mezcla de cal con el terreno. En general, para conseguir estas modificaciones, la dosificación necesaria de cal oscila entre el 1 y el 3 por ciento. El grado de pureza de la Cal no es importante, principalmente porque las impurezas más comunes son cloruro sódico,  $ClNa$ , y cloruro magnésico,  $Cl_2Mg$ ; y estas dos sales producen en los suelos efectos similares al cloruro cálcico.

#### 8.2. CAPACIDAD DE SOPORTE

La prueba de compresión no confinada se realiza con el propósito de determinar las características de resistencia de los suelos. Las muestras de suelo en estudio deberían ser inalteradas (no perturbadas), para así tener la certeza que los resultados de los ensayos, serán acorde con la realidad. La muestra o probeta para un ensayo sin confinar, por lo general suele ser de forma cilíndrica en que su diámetro y altura están debidamente normalizados de modo de mantener la razón entre ellos para evitar posibles problemas de pandeo.

Para la Bischofita se tiene que el efecto inmediato del producto es mantener la humedad inicial de la carpeta, hacer mucho más duradera la cohesión fino -grueso, evitar la pérdida de fino y por consiguiente mejorar la superficie de rodadura. Aunque el proctor si mejora; se tiene que el producto (Bischofita) no mejora el valor del CBR en laboratorio, por lo que estructuralmente el comportamiento del camino dependerá de la calidad de los materiales que compongan la carpeta. En resumen los requisitos de resistencia de la sub-rasante y de la base son los exigidos para todas las carpetas granulares normales. Resultados de la experiencia de SALMAG señalan que los espesores recomendados para la carpeta son no menos de 12 cm. y no más 20 cm., dependiendo de la sollicitación de cada camino y si el proyecto considera soportar grandes cargas, considerar CBR mín. 60% para la sub-base y 80% para la base. La banda granulométrica recomendada oscila entre tamiz 0.08 y 50 mm.; al respecto se debe anotar que el tamaño máximo de los áridos deberá ser a lo más un tercio del espesor de la carpeta de rodado compactada, que se podrá utilizar material cuya granulometría esté fuera de la banda recomendada, pero el desempeño y durabilidad de la carpeta de rodado estabilizada podrán verse reducidos y que RoadMag puede ser utilizado sin problemas con materiales no plásticos.

Para el caso de la Cal, cuando se desea adquirir resistencia, existe el problema de que no todos los suelo desarrollan rápido su resistencia con la cal, es por ello que en Texas se ha establecido el criterio de que si una mezcla suelo - cal se prueba a la compresión sin confinar inmediatamente después de compactarse y se obtiene 7 kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla es adecuada. El uso de cal para mejorar suelos con mayor plasticidad, aparte de conseguir ese fin, aumenta también su resistencia a la compresión sin confinar, produciendo una textura granular más abierta. La cantidad de cal es de un 2 a 8% en peso. Para que la cal reaccione convenientemente se necesita que el suelo tenga minerales arcillosos, o sea sílice y alúmina, y se pueda lograr la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo. En general, el empleo de cal incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su índice C.B.R. en el tiempo. También aumenta las resistencias a tracción y a flexión. Por lo tanto, la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y las posibilidades de fallo durante su vida útil. Las estabilizaciones de suelos inadecuados con cal para transformarlos en suelos competentes para su uso en terraplenes, ha abierto una vía para la minimización de canteras y botaderos. De la experiencia española en el uso de la Cal, en cuanto a la parte técnica de las obras se destaca:

- Se han obtenido reducciones del índice de plasticidad significativas.
- Así, de valores medios del IP de los suelos antes de estabilizar, en torno a 20-23, se pasa a IP entre 5-10, anulándose, incluso la plasticidad en muchos de los casos analizados.
- La estabilidad volumétrica, determinada mediante el ensayo de hinchamiento libre, muestra una fuerte reducción e incluso anulación de las expansividades.
- Se produce una fuerte reducción de finos del orden del 50% tras la estabilización con cal.
- Tras la estabilización con cal, los terraplenes quedaron ejecutados con unas características excelentes desde el punto de vista constructivo.

### **8.3. ESTABILIDAD BAJO AGUA**

Para la Bischofita (principalmente) se debe evitarse su uso en la construcción en un terreno de capilaridad alta conocida y donde haya una fuente de agua a poca profundidad o en un lugar donde pueda ocurrir infiltración lateral, a menos que se tomen las precauciones adecuadas para interceptar este flujo de agua y drenarlo lejos de la base, carpeta o berma estabilizada.

Para la Cal, se tiene que durante las lloviznas, la extensión de la cal, la mezcla y la compactación puede seguir su operación normal. La extensión de cal seca utilizando una motoniveladora bajo la lluvia puede ser difícil si no se hace rápidamente, ya que la cal se humedece. También, la lluvia puede provocar pérdida de alcalinidad si la cal no está contenida en el suelo escarificado y rápidamente incorporada en el mismo. Sin embargo, una vez que la cal ha sido mezclada con el suelo, las lloviznas reducen la cantidad de agua que se requiere rociar para la compactación. Después de la compactación, la capa tratada con cal es impermeable a la humedad y el agua de lluvia escurre en forma similar a un camino pavimentado. Esto significa que aún con lluvias fuertes, por lo general sólo se dan retrasos mínimos antes de que la capa de rodadura pueda ser aplicada (o en el caso de la estabilización de sub-rasante, la capa de base o sub-base colocada).

## **8.4. COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS HIELO-DESHIELO**

La Bischofita logra que el punto de congelación del agua sea más baja de la de su condición normal; en efecto, la Bischofita baja la temperatura de congelamiento del agua hasta  $-33^{\circ}\text{C}$  ( $T^{\circ}$  eutéctica) con lo cual evita la formación de hielo (a condiciones normales) en la carretera.

En el caso del cloruro de calcio se tiene que su  $T^{\circ}$  eutéctica es  $-51^{\circ}\text{C}$ ; es decir, una solución de la sal cloruro cálcico se congela a una temperatura menor que el agua pura. La temperatura de congelación de la solución depende de la concentración de la sal; por consiguiente los suelos tratados con cloruro cálcico sufren menos los efectos del hielo y deshielo, debido a que están helados por un tiempo total menor. en razón de ello, cuando se dan heladas prematuras o los trabajos se retrasan y se desarrollan entrado el invierno, el daño de una helada puede ser reducido con los siguientes procedimientos:

1. El día siguiente de la helada, vuelva a compactar la base tratada con cal. La experiencia ha enseñado que heladas posteriores e intermitentes, tienen un efecto mínimo en la base. La primera helada normalmente causa un poco de “arrugamiento” o distorsión en la pulgada superior de la base.
2. Si ocurren descongelamientos de primavera como resultado del atraso de la construcción en el otoño, las secciones dañadas pueden ser trabajadas y compactadas nuevamente, y volverlas secciones permanentes y durables. La mayoría de la cal todavía está activa y “libre”, reaccionando fácilmente con el calor de la primavera. En el trabajo de nuevo de los suelos, puede ser deseable añadir cal para compensar una posible disminución en el pH de de la mezcla.
3. En el evento que suceda un cierre completo del Proyecto por el invierno, las subrasantes recientemente estabilizadas pueden de ser protegidas con una capa de material apropiado, por ejemplo material de préstamo.

## **8.5. COMPORTAMIENTO ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD**

La capacidad del suelo estabilizado de soportar variaciones importantes en una o más de sus propiedades de desempeño, a consecuencia de fenómenos naturales (cambios

estacionales) o artificiales (anegamientos, drenaje u otros); en promedio la humedad necesaria para evitar la resequeidad de la carpeta producto de la humedad natural de la zona es de 32% para la Bischofita y 42% para el cloruro de calcio; en ese aspecto se debe tener en cuenta la humedad relativa de cada uno de los departamentos costeros del Perú (Ver anexo A.3) y comprobar la factibilidad de aplicar uno u otro producto; en efecto de la tabla de humedades relativas, se tiene que solo para el caso de Arequipa (Humedad relativa mínima = 46%) la aplicación del Cloruro de Calcio sería un poco desventajosa.



## Capítulo IX

### **IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES**

#### **9.1. CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES**

Los efectos que tienen en el ambiente las sales usadas como estabilizador de carreteras pueden ser significativos, pero dependen de una amplia variedad de factores únicos a cada lugar geográfico. Los impactos registrados por las sales —Cal, Sal y Bischofita—<sup>40</sup> hablan de daños a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial, agua potable entre otros factores. Para determinar el grado de estabilidad de cada uno de los productos estabilizadores se tendrá en cuenta los efectos e incidencia que tienen estos en las personas, el subsuelo, la capa superficial de suelo, las plantas y animales, las fuentes de agua, la erosión del suelo, etc.

Con fines de establecer en forma sintética los efectos del producto sobre el medio ambiente; solo se consideraran los siguientes aspectos:

- Degradabilidad
- Bioacumulación
- Efecto del producto en plantas o animales
- Efecto del producto en la salinidad de cuerpos de agua
- Efecto del producto en la salinidad de suelos

A cada uno de los aspectos considerados, se le asignara una calificación ordinal teniendo en cuenta el impacto causado en el medio ambiente —Alto (3), Mediano (2) y Bajo (1)— dependiendo del análisis hecho con respecto a cada uno de los aspectos considerados;

---

<sup>40</sup> En este capítulo y con fines informativos, también se considera el cloruro de sodio.

luego se establecerá el impacto sobre el medio ambiente de cada producto en función a la frecuencia de las valoraciones asignadas a cada aspecto, asignando la mayor valoración de impacto al producto que no tenga información disponible para un determinado aspecto ambiental considerado.

## **9.2. DEGRADABILIDAD**

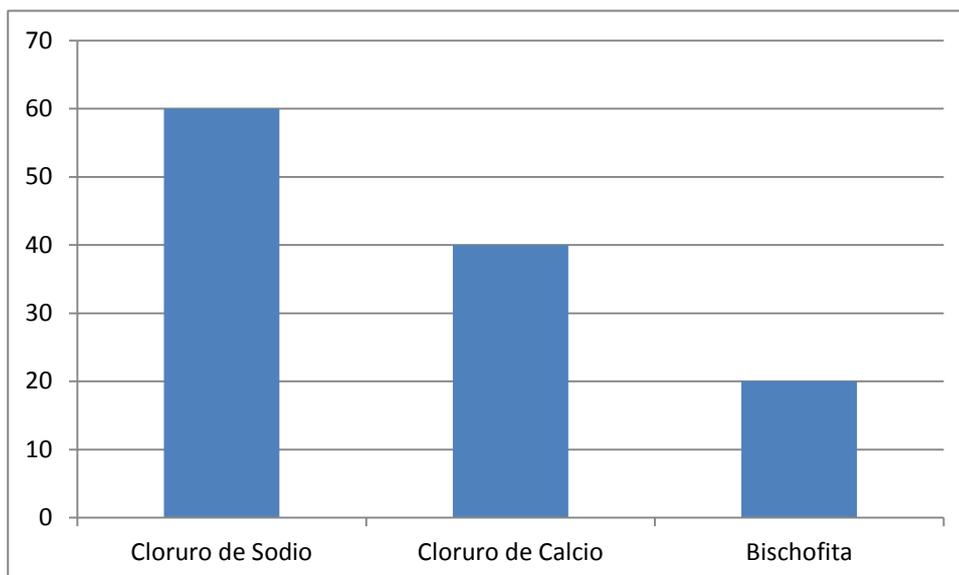
La Degradabilidad hace referencia a la capacidad que tiene el producto de ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales —biodegradable involucra la acción de microorganismos—. En ese aspecto tenemos:

**a.** La descomposición del cloruro de sodio es exotérmica y desprende oxígeno; la mezcla de este material con sustancias orgánicas oxidables, tales como solventes, aceites, grasas, azúcares, alcoholes, viruta, aserrín, hilo, polvo de materiales vegetales, etc., son riesgos potenciales de explosión e incendio.

**b.** Desde el punto de vista medio ambiental, la cal puede ser eliminado sin peligro atendiendo. Como producto la cal es estable, a temperatura ambiente poco soluble y se descompone a una temperatura de 580 °C. Tiene reacción exotérmica con los ácidos para formar sales de calcio.

**c.** La Bischofita es tan higroscópica que en presencia de lluvias se podría auto-disolver. Este producto es soluble en agua (95 gr/100 ml a 25°C). Este producto es estable en el ambiente. Es decir, si se estabiliza caminos ubicados en zonas de alta precipitación y se aplica sin los cuidados en cuanto a materiales y geometría del camino, se puede tener resultados desastrosos.

### **Cuadro Estadístico 1.**



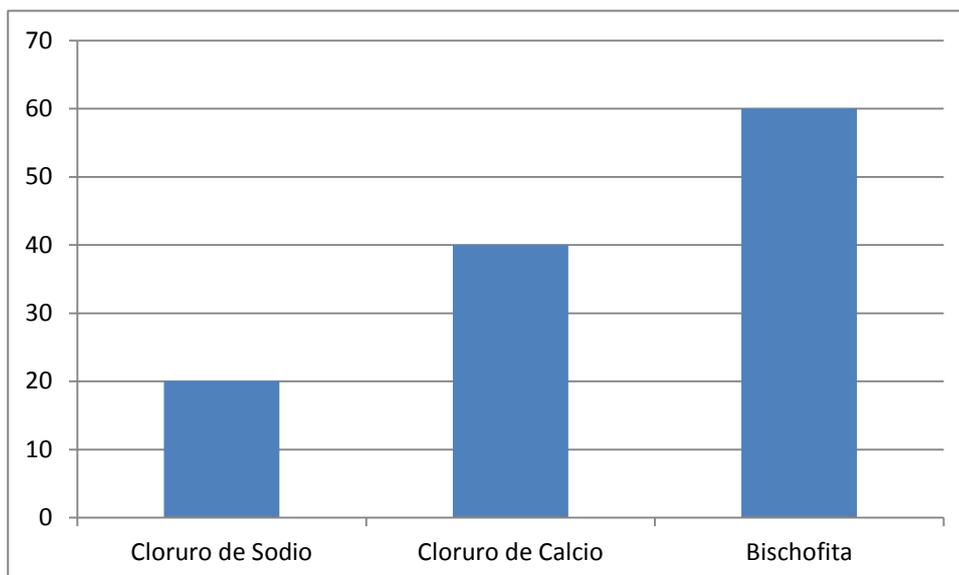
**Fuente:** Elaboración propia.

### 9.3. BIOACUMULACIÓN

El término bioacumulación está relacionado con el aumento en la concentración de una sustancia en organismos vivos, debido al contacto de éste con aire, agua, o alimento contaminado, debido a la lenta metabolización y excreción. En ese contexto se tiene:

- a. La sal tiene un efecto acumulativo depende de condiciones locales, como tipo de suelo, precipitación, y topografía. El daño a la vegetación causado por la sal (infra), degrada el hábitat de la fauna destruyendo recursos alimenticios. Entornos salinizados generan que muchos animales tienden a sobrepasar su ingesta de sal, elevando los índices normales permisibles a nivel sanguíneo, provocando su intoxicación y daños de tejidos. Las altas concentraciones de sal en el agua potable a causa de caminos tratados con cloruro de sodio pueden provocar posibles efectos adversos a la salud de las personas, como por ejemplo enfermedades relacionadas con hipertensión.
- b. La cal puede causar irritación y quemaduras en la piel sin protección, especialmente en presencia de humedad. Se debe prestar cuidado especial con la cal viva porque su reacción con la humedad genera el calor suficiente para causar quemaduras.
- c. En cuanto a efectos bioacumulativos de la Bischofita, en la actualidad no se tiene información disponible.

**Cuadro Estadístico 2.**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 9.4. EFECTO DEL PRODUCTO EN PLANTAS O ANIMALES

a. Las carreteras estabilizadas con cloruro de sodio tienen efectos en la vegetación del borde del camino. Las hierbas, arbustos u árboles son perjudicados por la sal, por los siguientes medios de contacto:

- (i) Medio terrestre: La sal es absorbida por las raíces a través del agua de suelo.
- (ii) Medio aéreo: Acumulación de sal sobre follaje y ramas por rocío o salpicadura aerotransportada como un polvo desde el camino a causa del volumen y velocidad de tráfico que genera que la sal se suspenda en el aire.

El grado de daño que genera la sal varía dependiendo de factores como: concentración de sal en el suelo, topografía del camino, textura del suelo, precipitaciones en el sector, sistema de drenaje del camino, condiciones meteorológicas (temperatura, humedad), viento, especies de vegetación expuesta, tamaño de la planta y tolerancia que presenten las especies vegetales al NaCl. El daño que puede generar el cloruro de sodio del camino sobre la vegetación existente a su alrededor, en proporciones que van desde los 6,2kg/m, es de un 5 a 10% de la población vegetal y en plantas sensibles hasta un 50,8%. Si la vegetación afectada por la sal corresponde a árboles frutales, el daño genera pérdidas aproximadas del 30 a 60 % de la producción total de cada árbol afectado.

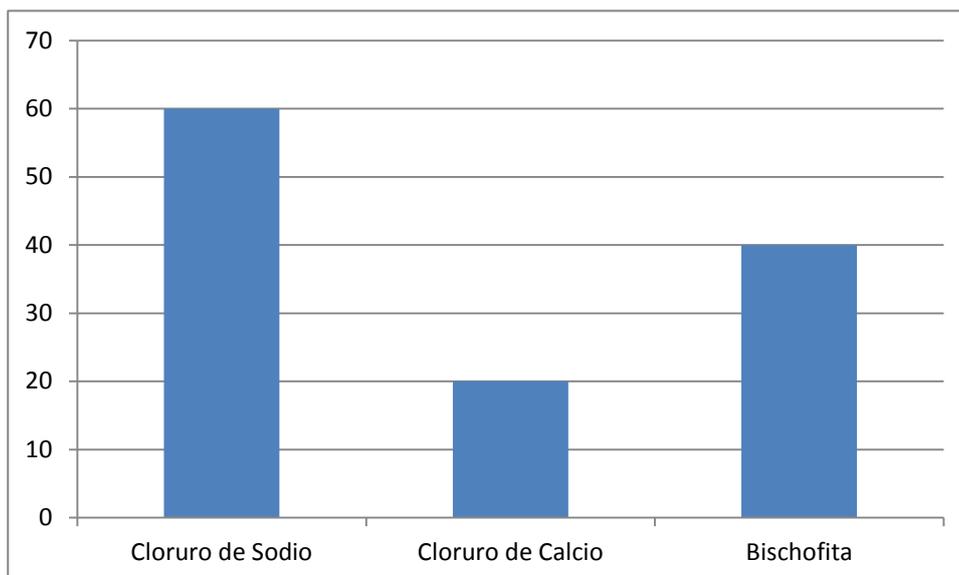
El daño a la vegetación puede ocurrir a hasta 200 metros de la orilla del camino. El NaCl en la tierra, en concentraciones tan bajas como 100 partes por millón (ppm), inhibe la germinación de la semilla y el crecimiento de céspedes y flores salvajes. La acumulación de sal en la tierra durante varios años puede causar el declive progresivo y muerte eventual de la planta.

En cuanto a la fauna se refiere, un mínimo de fauna tiene una necesidad de la sal en sus dietas; debido a esto dichos animales son a menudo atraídos al borde del camino donde hay una concentración alta de sal. La presencia de fauna cerca de carreteras es siempre un riesgo potencial y uno del cual el público conductor debe ser consciente.

**b.** Las personas, los animales y las plantas necesitan calcio, una sustancia esencial para la vida que se obtiene fácilmente en el Cloruro de calcio. Es por ello que el Cloruro de calcio tiene numerosas aplicaciones en la industria alimentaria. Ejemplo: Las manzanas rociadas con una ligera solución de Cloruro de calcio tienen mayor durabilidad; sencillamente porque el calcio funciona como un complemento nutritivo para la fruta; además con este método las manzanas y otras frutas conservan por más tiempo su frescor y brillo. En el sector ganadero se utiliza el Cloruro Cálcico como complemento del forraje; por ejemplo para prevenir la parálisis posparto en las vacas. En síntesis, las carreteras estabilizadas con cal no tienen efectos negativos en las plantas y animales.

**c.** El eventual efecto en animales expuestos a la Bischofita como producto debería ser una irritación del área de tejido afectada. La liberación de importantes volúmenes de este producto produce un aumento de la salinidad y composición de suelos contaminados, pudiendo afectar la vegetación en el lugar contaminado.

### **Cuadro Estadístico 3.**



**Fuente:** Elaboración propia.

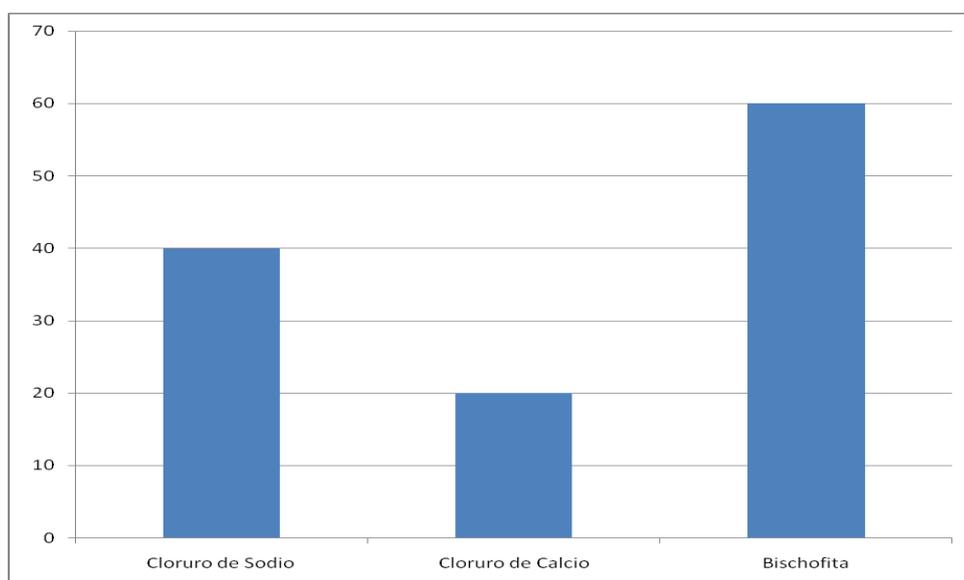
## 9.5. EFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE CUERPOS DE AGUA

a. Los efectos de la sal sobre el agua superficial son generados principalmente por pequeñas corrientes que corren adyacente a carreteras tratadas con altas concentraciones de sal, que se contaminan y desembocan en pequeños lagos y estanques. En general, las cargas de sal en grandes ríos y lagos son diluidas. En casos extremos, las altas concentraciones de cloruro de sodio y persistentes corrientes de agua al borde del camino pueden dañar la vida acuática del acuífero que las recibe, si éste acuífero es un lago el daño será menor que si se tratara de un río, ya que la sal por tratarse de un compuesto más denso que el agua, baja y se deposita en el fondo, situación que en aguas corrientes no ocurre, por lo que su factor de incidencia es de 2 a 10 veces por encima del daño provocado en un acuífero de aguas tranquilas. La sal del camino puede entrar en contacto con depósitos o reservas de agua potable emigrando por suelo a través de aguas subterráneas o directamente por drenaje de aguas superficiales. En general, sólo los pozos o los embalses que se encuentren cerca ya sea de carreteras tratadas por sal o instalaciones de almacenaje de sal son susceptibles a una infiltración de este producto. Esta susceptibilidad depende de muchos factores, como son la intensidad de salinidad del suelo, tipo de suelo, clima, topografía, volumen de agua y dilución de la sal.

b. En cuanto al cloruro de calcio se refiere, este es una sustancia de carácter básico que puede provocar un aumento de pH hasta 12,5 para concentraciones de 1.600 mg/l. El hidróxido de calcio se solubiliza progresivamente y se recarbonata formando carbonato de calcio  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ; dicho carbonato de calcio, tiene un carácter ecológico neutro. Solamente los vertidos accidentales en aguas superficiales, pueden causar daños en la vida acuática por elevación transitoria del pH.

c. En cuanto a la Bischofita se refiere; una de las grandes preocupaciones que se derivan de su uso como producto estabilizador es la posible contaminación de los cultivos aledaños a los caminos, donde se ha utilizado dicho recurso, ya sea en el tratamiento supresor del polvo (TSP) o en la estabilización del mismo. Por lo mismo, Salmag, bajo la marca “DustOne”, es quien se dedica a aplicar y a controlar el proceso del TSP, debido a que un mal uso de este producto puede ocasionar serios daños. En cuanto a sus efectos en los cursos de agua, los representantes de Salmag señalan que el riesgo está presente, sobre todo, cuando existen cursos de agua cercanos a donde se está aplicando Roadmag. La liberación de grandes cantidades de este producto puede ser perjudicial para el ambiente acuático, al alterar la salinidad del agua.

**Cuadro Estadístico 4.**



**Fuente:** Elaboración propia.

## **9.6. EFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE SUELOS**

**a.** El efecto mayor de genera la sal sobre el suelo es por lo general encajonado a 5m del borde del camino; la concentración necesaria para que este compuesto inhiba algunas bacterias de la tierra que componen la estructura del suelo, es en proporciones tan bajas como 90 mg/l. La distancia de transporte de la sal a través del suelo en forma horizontal dependerá de factores como: intensidad de precipitaciones, pendiente del borde del camino, dirección y sistema de drenaje o desagüe del camino, textura de suelo, la presencia de capa vegetal, nieve o hielo. En tanto el transporte de la sal en forma vertical por el suelo o hacia abajo, es a menudo lento y dependiente del drenaje, o infiltración y características del suelo. La arena y la grava permiten la infiltración rápida del cloruro de sodio en el suelo, mientras que la arcilla y el limo reducen la marcha de la infiltración. La acumulación de sodio en la tierra a largo plazo, puede afectar negativamente las características de estructura del suelo ya que genera su endurecimiento. Expresamente, la acumulación de sodio genera los siguientes trastornos en el suelo:

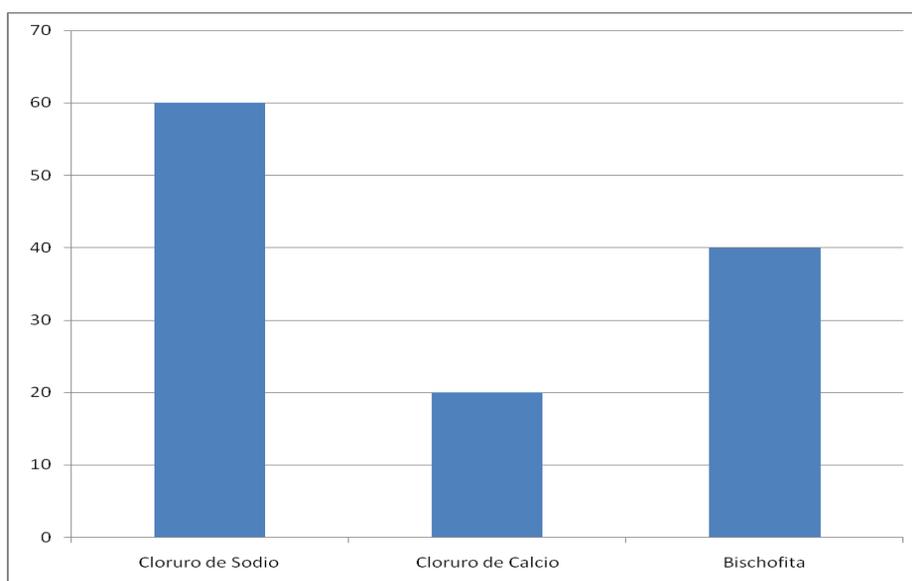
- Aumenta la densidad y el pH del sustrato.
- Origina problemas de tipo físico, como la formación de costras, las cuales bloquean los poros y por consiguiente disminuyen la permeabilidad del suelo.
- Reduce en los suelos la retención de humedad.
- Origina problemas de químicos: como reducción de los niveles de potasio, calcio, magnesio, y otras sustancias nutritivas que son importantes para la fertilidad del suelo y crecimiento de la vegetación.

**b.** En cuanto al cloruro de calcio se refiere, este ayuda a las plantas a extraer nitrógeno del suelo, con lo que también se incrementa el efecto del fertilizante. El Cloruro Cálcico es utilizado con éxito para incrementar el rendimiento y la calidad de las cosechas; por ejemplo, de manzanas, cebollas, algodón, melones o pimientos. El cloruro de calcio también es útil para la reducción de altos contenidos de sodio en tierras salinas y además aporta a las plantas el elemento calcio esencial para la vida.

**c.** En cuanto a la Bischofita se refiere, hay un consenso que no se debe instalar este material cerca de algunos tipos de cultivos que se puedan ver afectados; pero, «si no hay

contacto directo, no existe problema». Por lo tanto, es necesario que existan medidas que garanticen los 1,5 metros de distancia que debe haber entre el punto de colocación y la vegetación que se quiere proteger. Finalmente, Salmag encargó al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA), la realización de un estudio para poder determinar el comportamiento del producto frente a las aguas de lluvia; este estudio concluyó, que el agua lluvia disminuye sólo el 10% de la concentración superficial de este producto; permaneciendo el resto en la capas inferiores a la carpeta de rodadura.

**Cuadro Estadístico 5.**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 9.7. IMPACTO DEL PRODUCTO EN EL MEDIO AMBIENTE

Teniendo en cuenta las valoraciones hecha en los acápite precedentes, se construye la siguiente tabla que refleja el total de valoraciones asignadas por cada uno de los aspectos considerados:

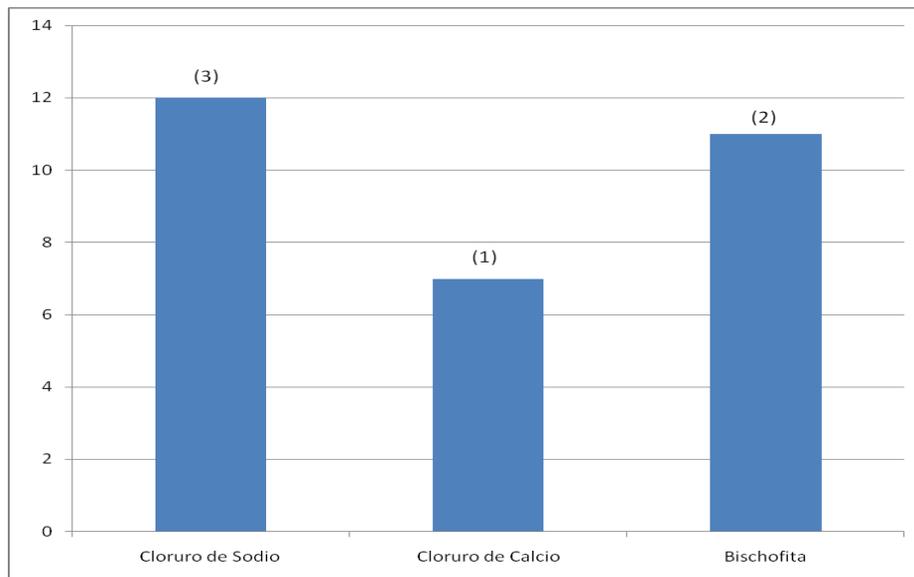
**Cuadro 15.** Evaluación para cuantificar en Impacto Ambiental.

Aspecto	Producto		
	Cloruro de Sodio	Cloruro de Calcio	Bischofita
Degradabilidad	3	2	1

<b>Bioacumulación</b>	1	2	3
<b>Efecto del producto en plantas o animales</b>	3	1	2
<b>Efecto del producto en la salinidad de cuerpos de agua</b>	2	1	3
<b>Efecto del producto en la salinidad de suelos</b>	3	1	2
<b>Total</b>	12	7	11

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro Estadístico 6.**



Fuente: Elaboración propia.

**Leyenda:**

(3)Alto impacto causado en el medio ambiente

(2)Mediano impacto causado en el medio ambiente

(1)Bajo impacto causado en el medio ambiente

# ANEXOS

## A.1.GLOSARIO DE TERMINOS

**Abrasión:** Se denomina abrasión (del lat. *abradere*, "raer") a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido. En geología, la abrasión marina es el desgaste causado a una roca por la acción mecánica del agua cargada por partículas procedentes de los derrubios. Es importante, sobre todo, en la formación de costas abruptas. Batidas por el mar, éstas retroceden y las piedras desprendidas del acantilado, arrastradas con movimientos de vaivén por las olas, tallan al pie del mismo una plataforma de abrasión que desciende con ligera pendiente hacia el mar.

**Calicatas:** Las calicatas o catas son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora. Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

**CBR:** El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs. /pulg<sup>2</sup>.) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm<sup>2</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs./pulg<sup>2</sup>.) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

**Higroscopicidad:** La higroscopicidad es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica. Para cada sustancia existe una humedad que se llama de equilibrio, es decir, un contenido de humedad tal de la atmósfera a la cual el material ni capta ni libera humedad al ambiente. Si la humedad ambiente es menor que este valor de equilibrio, el

material se secará, si la humedad ambiente es mayor, se humedecerá. Así, ciertos minerales como el cloruro de calcio son capaces de captar agua de la atmósfera en casi cualquier condición, porque su humedad de equilibrio es muy baja. Sustancias como estas son usadas como desecadoras. Otros ejemplos son el ácido sulfúrico, el gel de sílice, etc.

**Límites de Atterberg:** Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916). Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

**Nivel Freático:** Freático significa libre o en contacto con la atmósfera. El agua que cae en forma de lluvia sobre la tierra sigue por dos caminos. El primero es circular por la superficie terrestre formando ríos arroyos, etc. y el segundo camino es la infiltración, parte del agua que se infiltra es retenida en los primeros metros de suelo formando el agua de aprovechamiento agronómico, la, otra parte que infiltra más profundamente forma parte del agua de un acuífero libre. Ahora bien este acuífero es libre porque la superficie del agua del acuífero está en contacto con la atmósfera a través de los poros interconectados. Si el agua que contiene este acuífero satura todos los poros hasta la superficie del suelo decimos que el nivel freático es alto.

**Subrasante:** El plano superior del movimiento de tierras y que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las bermas.

## **A.2. ENSAYOS DE LABORATORIO**

A continuación se presenta los ensayos básicos y los ensayos de Proctor Modificado realizado a los materiales extraídos de las Cantera Firth, Cantera Romana y Cantera Ccarapongo.

**Cantera Ccarapongo.**

**Cuadro 16. Ensayos Básicos.**

N° DE ENSAYO		1	2
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (<math>\omega</math> %)</b>			
1	N° recipiente ( gr. )	Eli-104	Eli-105
2	W recipiente ( gr. )	209.06	207.11
3	W recipiente sw ( gr. )	675.34	674.2
4	W recipiente s ( gr. )	667.96	666.95
5	Ww : 3-4 ( gr. )	7.38	7.25
6	Ws : 4-2 ( gr. )	458.9	459.84
7	$\omega$ : 100* 5/6 ( % )	1.61	1.58
8	$\omega$ : promedio ( % )	1.59	
<b>PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss )</b>			
1	N° frasco	1	
2	W Frasco w ( gr. )	649.05	
3	W Frasco sw ( gr. )	758.09	
4	N° recipiente	T-3	
5	W recipiente ( gr. )	114.22	
6	W recipiente s ( gr. )	283.99	
7	Ws : 6-5 ( gr. )	169.77	
8	Ss : 7/ (2-3+7)	2.80	
9	Ss : promedio	2.80	

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 10.** Análisis Granulométrico.

**CONTENIDO DE HUMEDAD  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

ASTM D2216  
ASTM D422

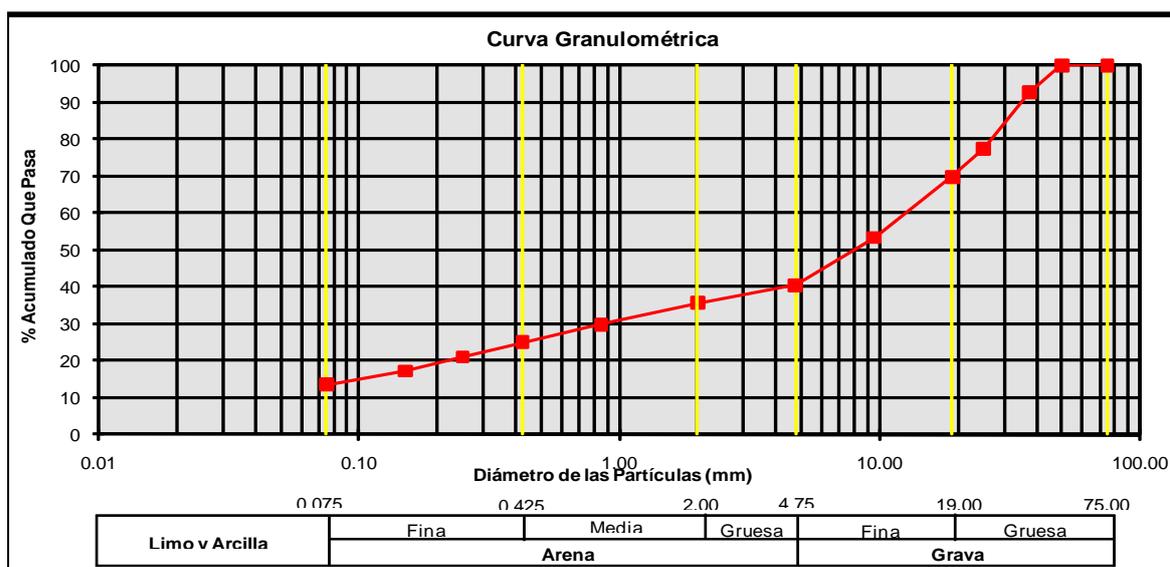
CODIGO
0

CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)		
1	No recipiente	Imsa-IV
2	W recipiente (gr)	792.00
3	W recipiente sw (gr)	6555.00
4	W recipiente s (gr)	6464.80
5	W w : 3-4 (gr)	90.20
6	W s : 4-2 (gr)	5672.80
7	ω : 100*5/6 (%)	1.59

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5740.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	4948.00
10	W s fino (platillo) (gr)	41.00
11	W Total Parcial Retenido (gr)	4941.22
12	ΔW : 9-11 (gr)	6.78
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	765.80
14	% finos : 100*13/6 (%)	13.50
15	Error : 100*12/9 (%)	0.14

D10	(mm)	0.04
D30	(mm)	0.87
D60	(mm)	12.55
Cu = D60/D10		> 99
Cc = D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)		1.55

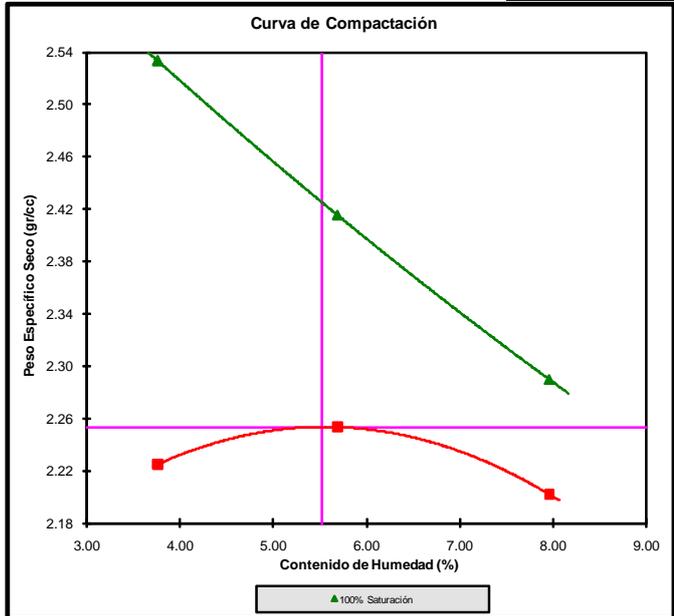
Tamiz		Peso Parcial Retenido	Peso Parcial Retenido Corregido	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que Pasa
-	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	418.23	418.23	7.37	7.37	92.63
1"	25.000	854.40	854.40	15.06	22.43	77.57
3/4"	19.000	433.30	433.30	7.64	30.07	69.93
3/8"	09.500	934.37	941.15	16.59	46.66	53.34
No 004	04.750	726.72	726.72	12.81	59.47	40.53
No 010	02.000	274.60	274.60	4.84	64.31	35.69
No 020	00.850	333.00	333.00	5.87	70.18	29.82
No 040	00.425	268.00	268.00	4.72	74.91	25.09
No 060	00.250	226.74	226.74	4.00	78.91	21.09
No 100	00.150	217.86	217.86	3.84	82.75	17.25
No 200	00.075	213.00	213.00	3.75	86.50	13.50
Platillo		41.00	765.80	13.50	100.00	0.00
Total		4941.22	5672.80	100.00	-	-



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11. Proctor Modificado (Sin Aditivo)**

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO			
				#REF!			
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S<sub>s</sub>)</b>				<b>2.80</b>			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>							
Tamiz		Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum. Retenido			
-	(mm)	(gr)	(%)	(%)			
3/4"	19	510.00	24.40	24.40			
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19			
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00			
Platillo		1045.00	50.00	100.00			
Total		2090.00	100.00	-			
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				<b>C</b>			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω<sub>1</sub>)</b>							
1	No recipiente			Eli-104			
2	W recipiente (gr)			209.06			
3	W recipiente sw (gr)			675.34			
4	W recipiente s (gr)			667.96			
5	W w : 3-4 (gr)			7.38			
6	W s : 4-2 (gr)			458.90			
7	ω : 100*5/6 (%)			1.61			
8	ω promedio (%)			1.61			
<b>O.C.H. PROBABLE</b>				<b>5.00</b>			
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> 1%)</b>							
9	W sw (gr)			7000.00			
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6889.21			
11	ω (%)			5.00			
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			233.67			
13	ΔVw <sub>2</sub> (1%) : (1)*10/100 (cc)			68.89			
				OCH (%)	5.52		
				γ <sub>d</sub> max (gr/cc)	2.25		
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4	5	
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>							
14	No molde					6"	
15	V molde (cc)					2129.0000	
16	W molde (gr)					6470.00	
17	W molde sw (gr)	11385.00	11540.20	11530.60			
18	W sw : 17-16 (gr)	4915.00	5070.20	5060.60			
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.31	2.38	2.38			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>							
20	No recipiente	Eli-101	Eli-102	Eli-105	Eli.500	223	224
21	W recipiente (gr)	167.62	208.45	207.27	205.72	175.04	175.07
22	W recipiente sw (gr)	375.02	498.54	464.06	497.51	387.63	328.85
23	W recipiente s (gr)	367.68	487.78	450.17	481.88	372.51	317.11
24	W w : 22-23 (gr)	7.34	10.76	13.89	15.63	15.12	11.74
25	W s : 23-21 (gr)	200.06	279.33	242.90	276.16	197.47	142.04
26	ω : 100*24/25 (%)	3.67	3.85	5.72	5.66	7.66	8.27
27	ω promedio (%)		3.76		5.69		7.96
						3.76	3.76
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>							
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.22		2.25		2.20
						2.22	2.22
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>							



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12. Proctor Modificado (Adicionando 3% de Bischofita)**

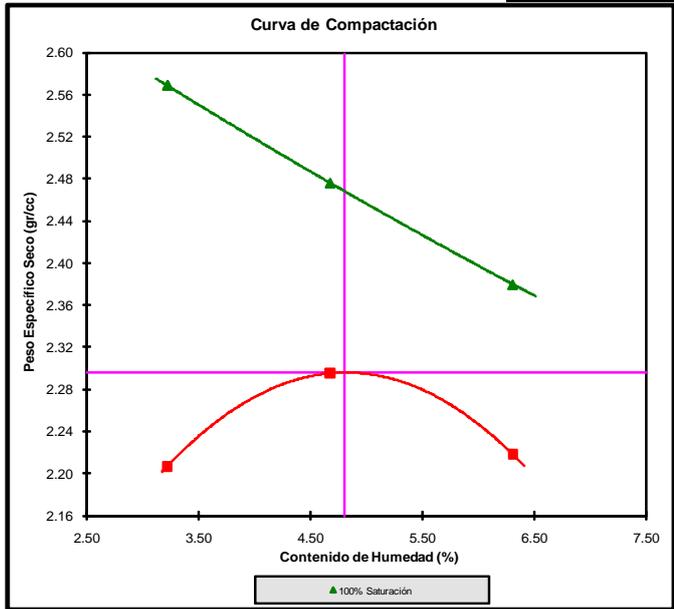
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#iREF!	
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S<sub>s</sub>)</b>		<b>2.80</b>			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>					
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		<b>C</b>			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω<sub>1</sub>)</b>					
1	No recipiente			EH-105	
2	W recipiente	(gr)		207.11	
3	W recipiente sw	(gr)		674.20	
4	W recipiente s	(gr)		666.10	
5	W w : 3-4	(gr)	-	8.10	
6	W s : 4-2	(gr)	-	458.99	
7	ω : 100*5/6	(%)	-	1.76	
8	ω promedio	(%)		1.76	
<b>O.C.H. PROBABLE</b>		<b>(%) 5.00</b>			
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>i</sub> y ΔVw (1 %))</b>					
9	W sw	(gr)		7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6878.61	
11	ω	(%)		5.00	
12	ΔVw <sub>i</sub> : (11- 8)*10/100	(cc)		222.54	
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)		68.79	
<b>No DE ENSAYO</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>					
14	No molde				6"
15	V molde	(cc)			2129.0000
16	W molde	(gr)			6470.00
17	W molde sw	(gr)	11310.00	11440.00	11463.00
18	W sw : 17-16	(gr)	4840.00	4970.00	4993.00
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.27	2.33	2.35
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
20	No recipiente	236	238	223	224
21	W recipiente	(gr) 180.76	174.40	174.97	175.08
22	W recipiente sw	(gr) 364.34	342.00	368.15	335.54
23	W recipiente s	(gr) 358.09	337.62	358.35	328.63
24	W w : 22-23	(gr) 6.25	4.38	9.80	6.91
25	W s : 23-21	(gr) 177.33	163.22	183.38	153.55
26	ω : 100*24/25	(%) 3.52	2.68	5.34	4.50
27	ω promedio	(%) 3.10		4.92	3.90
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>					
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27)	(gr/cc) 2.20		2.22	2.26
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>					
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27)	(gr/cc) 2.58		2.46	2.52

OCH	(%)	4.10
γ <sub>d</sub> max	(gr/cc)	2.26

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13. Proctor Modificado (Adicionando 4% de Bischofita)**

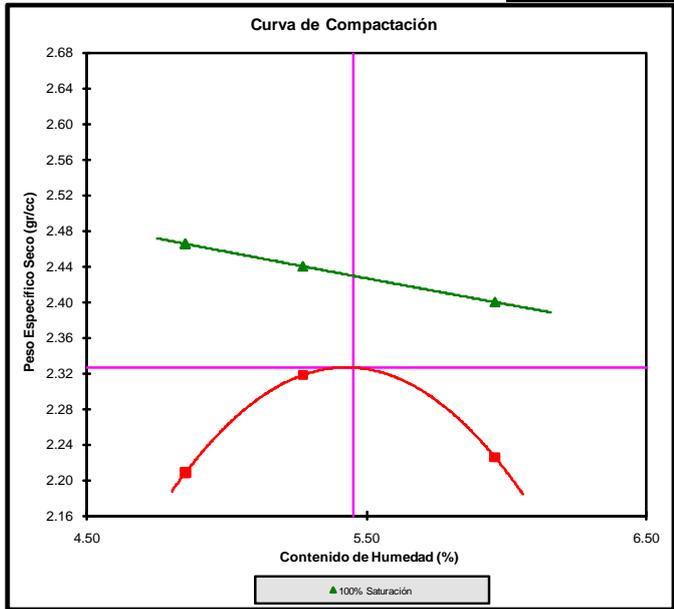
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO						
				#iREF!						
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>		<b>2.80</b>								
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>										
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>						
-	(mm)									
3/4"	19	510.00	24.40	24.40						
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19						
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00						
Platillo		1045.00	50.00	100.00						
Total		2090.00	100.00	-						
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		<b>C</b>								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>										
1	No recipiente			T-5						
2	W recipiente (gr)			117.29						
3	W recipiente sw (gr)			370.38						
4	W recipiente s (gr)			365.97						
5	W w : 3-4 (gr)			4.41						
6	W s : 4-2 (gr)			248.68						
7	ω : 100*5/6 (%)			1.77						
8	ω promedio (%)			1.77						
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>		<b>5.00</b>								
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>i</sub> y ΔVw (1 %))</b>										
9	W sw (gr)			7000.00						
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6878.03						
11	ω (%)			5.00						
12	ΔVw <sub>i</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			221.93						
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100 (cc)			68.78						
		<b>OCH (%)</b>		<b>4.80</b>						
		<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>		<b>2.30</b>						
<b>No DE ENSAYO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>					
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>										
14	No molde				6"					
15	V molde (cc)				2129.0000					
16	W molde (gr)				6470.00					
17	W molde sw (gr)	11320.00	11585.00	11490.00						
18	W sw : 17-16 (gr)	4850.00	5115.00	5020.00						
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.28	2.40	2.36						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>										
20	No recipiente	230	231	227	300	18	42			
21	W recipiente (gr)	176.72	187.33	176.14	160.74	172.31	196.63			
22	W recipiente sw (gr)	360.74	322.14	387.20	374.23	341.50	405.82			
23	W recipiente s (gr)	353.89	318.76	376.38	366.13	330.19	395.01			
24	W w : 22-23 (gr)	6.85	3.38	10.82	8.10	11.31	10.81	-	-	-
25	W s : 23-21 (gr)	177.17	131.43	200.24	205.39	157.88	198.38	-	-	-
26	ω : 100*24/25 (%)	3.87	2.57	5.40	3.94	7.16	5.45	-	-	-
27	ω promedio (%)		3.22		4.67		6.31		3.22	3.22
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>										
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.21		2.30		2.22		2.21	2.21
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>										
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)		2.57		2.48		2.38		2.57	2.57



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14. Proctor Modificado (Adicionando 5% de Bischofita)**

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO						
				#iREF!						
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>		<b>2.80</b>								
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>										
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>						
-	(mm)									
3/4"	19	510.00	24.40	24.40						
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19						
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00						
Platillo		1045.00	50.00	100.00						
Total		2090.00	100.00	-						
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		<b>C</b>								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω<sub>1</sub>)</b>										
1	No recipiente			16						
2	W recipiente (gr)			184.01						
3	W recipiente sw (gr)			349.37						
4	W recipiente s (gr)			346.01						
5	W w : 3-4 (gr)			3.36						
6	W s : 4-2 (gr)			162.00						
7	ω : 100*5/6 (%)			2.07						
8	ω promedio (%)			2.07						
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>		<b>5.00</b>								
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>i</sub> y ΔVw (1 %))</b>										
9	W sw (gr)			7000.00						
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6857.76						
11	ω (%)			5.00						
12	ΔVw <sub>i</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			200.65						
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100 (cc)			68.58						
		<b>OCH (%)</b>		<b>5.45</b>						
		<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>		<b>2.33</b>						
<b>No DE ENSAYO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>					
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>										
14	No molde				6"					
15	V molde (cc)				2129.0000					
16	W molde (gr)				6470.00					
17	W molde sw (gr)	11400.00	11490.00	11665.00						
18	W sw : 17-16 (gr)	4930.00	5020.00	5195.00						
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.32	2.36	2.44						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>										
20	No recipiente	Eli-103	Eli-500	236	238	227	230			
21	W recipiente (gr)	167.04	205.61	184.18	174.77	176.34	176.84			
22	W recipiente sw (gr)	330.15	392.81	382.23	393.63	369.95	441.74			
23	W recipiente s (gr)	321.43	385.51	370.17	382.35	359.27	429.83			
24	W w : 22-23 (gr)	8.72	7.30	12.06	11.28	10.68	11.91	-	-	-
25	W s : 23-21 (gr)	154.39	179.90	185.99	207.58	182.93	252.99	-	-	-
26	ω : 100*24/25 (%)	5.65	4.06	6.48	5.43	5.84	4.71	-	-	-
27	ω promedio (%)		4.85		5.96		5.27	4.85		4.85
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>										
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)	2.21	2.23	2.32	2.21	2.21	2.21			
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>										
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)	2.47	2.40	2.44	2.47	2.47	2.47			



Fuente: Elaboración propia.

## Cantera Ccarapongo.

**Cuadro 17. Ensayos Básicos.**

N° DE ENSAYO		1	2
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( <math>\omega</math> % )</b>			
1	N° recipiente ( gr. )	315	302
2	W recipiente ( gr. )	173.00	178.21
3	W recipiente sw ( gr. )	418.52	393.04
4	W recipiente s ( gr. )	410.36	384.89
5	Ww : 3-4 ( gr. )	8.16	8.15
6	Ws : 4-2 ( gr. )	237.36	206.68
7	$\omega$ : 100* 5/6 ( % )	3.44	3.94
8	$\omega$ : promedio ( % )	3.69	

PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS ( Ss )			
1	N° frasco	5	
2	W Frasco w ( gr. )	649.84	
3	W Frasco sw ( gr. )	781.14	
4	N° recipiente	T-1	
5	W recipiente ( gr. )	118.42	
6	W recipiente s ( gr. )	326.16	
7	Ws : 6-5 ( gr. )	207.74	
8	Ss : 7/ (2-3+7)	2.72	
9	Ss : promedio	2.72	

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 15. Análisis Granulométrico.

CONTENIDO DE HUMEDAD  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D2216  
ASTM D422

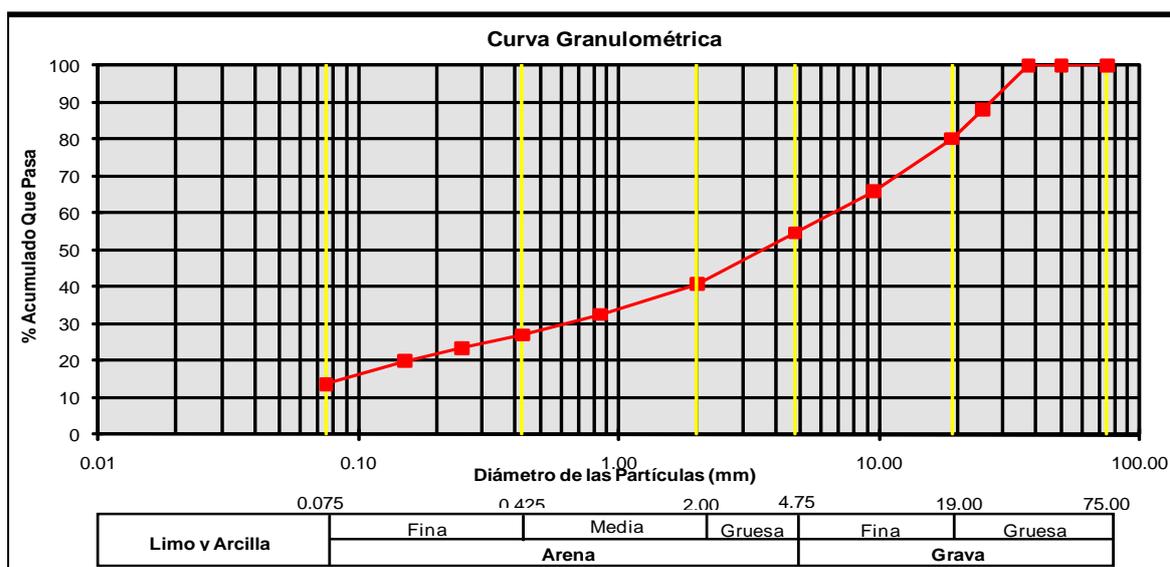
CODIGO
0

CONTENIDO DE HUMEDAD ( $\omega$ )		
1	No recipiente	Imsa-IV
2	W recipiente (gr)	792.00
3	W recipiente sw (gr)	6600.00
4	W recipiente s (gr)	6393.31
5	W w : 3-4 (gr)	206.69
6	W s : 4-2 (gr)	5601.31
7	$\omega$ : 100*5/6 (%)	3.69

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5705.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	4913.00
10	W s fino (platillo) (gr)	80.83
11	W Total Parcial Retenido (gr)	4907.68
12	$\Delta W$ : 9-11 (gr)	5.32
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	769.14
14	% finos : 100*13/6 (%)	13.73
15	Error : 100*12/9 (%)	0.11

D10 (mm)	0.05
D30 (mm)	0.62
D60 (mm)	6.59
Cu = D60/D10	> 99
Cc = D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)	1.17

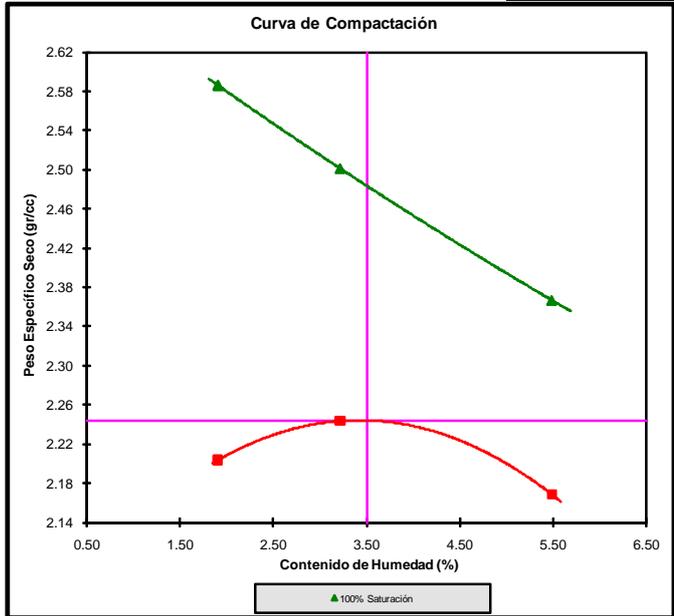
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Retenido Corregido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acumulado Retenido (%)	% Acumulado Que Pasa (%)
-	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	664.78	664.78	11.87	11.87	88.13
3/4"	19.000	444.49	444.49	7.94	19.80	80.20
3/8"	09.500	795.00	800.32	14.29	34.09	65.91
No 004	04.750	627.20	627.20	11.20	45.29	54.71
No 010	02.000	780.00	780.00	13.93	59.21	40.79
No 020	00.850	461.55	461.55	8.24	67.45	32.55
No 040	00.425	310.40	310.40	5.54	73.00	27.00
No 060	00.250	196.68	196.68	3.51	76.51	23.49
No 100	00.150	197.75	197.75	3.53	80.04	19.96
No 200	00.075	349.00	349.00	6.23	86.27	13.73
Platillo		80.83	769.14	13.73	100.00	0.00
Total		4907.68	5601.31	100.00	-	-



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Proctor Modificado (Sin Aditivo)

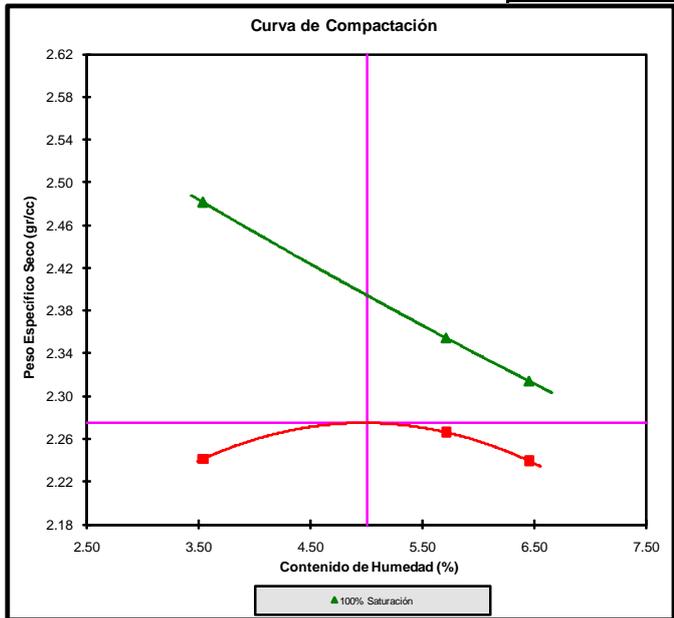
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO				
				#REF!				
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S<sub>s</sub>)</b>				2.72				
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>								
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)				
-	(mm)							
3/4"	19	510.00	24.40	24.40				
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19				
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00				
Platillo		1045.00	50.00	100.00				
Total		2090.00	100.00					
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				C				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω<sub>1</sub>)</b>								
1	No recipiente			8				
2	W recipiente	(gr)		20.71				
3	W recipiente sw	(gr)		116.16				
4	W recipiente s	(gr)		111.64				
5	W w : 3-4	(gr)		4.52				
6	W s : 4-2	(gr)		90.93				
7	ω : 100*5/6	(%)		4.97				
8	ω promedio	(%)		4.97				
<b>O.C.H. PROBABLE</b>				4.00				
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw (1 %))</b>								
9	W sw	(gr)		7000.00				
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6668.52				
11	ω	(%)		4.00				
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100	(cc)		-64.74				
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)		66.69				
				OCH (%)	3.50			
				γ <sub>d</sub> max (gr/cc)	2.24			
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4			
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>								
14	No molde			6"				
15	V molde	(cc)		2129.0000				
16	W molde	(gr)		6470.00				
17	W molde sw	(gr)	11250.00	11400.00	11340.00			
18	W sw : 17-16	(gr)	4780.00	4930.00	4870.00			
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.25	2.32	2.29			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>								
20	No recipiente	Eli-102	Eli-101	Eli-108	Eli-15	Eli-500	3	
21	W recipiente	(gr)	208.39	167.63	262.65	267.70	205.39	172.80
22	W recipiente sw	(gr)	402.09	431.23	497.64	533.31	430.45	446.61
23	W recipiente s	(gr)	398.50	426.29	490.10	525.30	418.47	432.70
24	W w : 22-23	(gr)	3.59	4.94	7.54	8.01	11.98	13.91
25	W s : 23-21	(gr)	190.11	258.66	227.45	257.60	213.08	259.90
26	ω : 100*24/25	(%)	1.89	1.91	3.32	3.11	5.62	5.35
27	ω promedio	(%)		1.90		3.21		5.49
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>								
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27)	(gr/cc)		2.20		2.24		2.17
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturación) (γ<sub>d</sub>)</b>								
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27)	(gr/cc)		2.59		2.50		2.37



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17. Proctor Modificado (Adicionando 3% de Bischofita)**

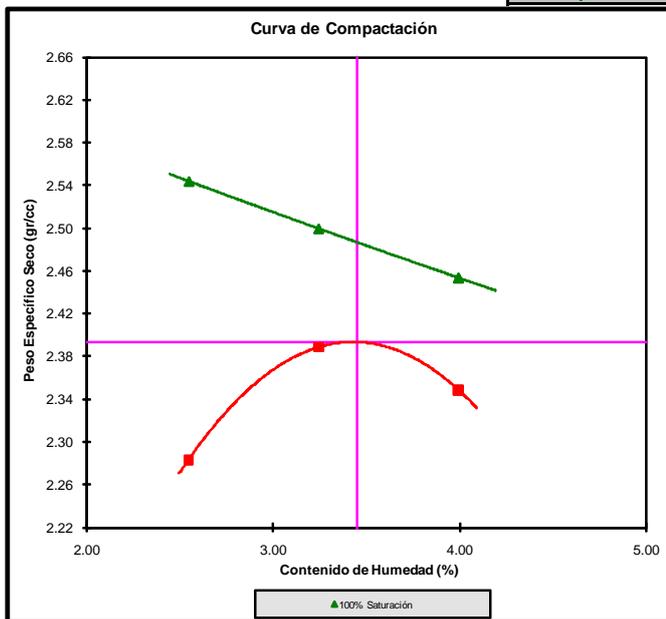
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO							
				#jREF!							
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>		<b>2.72</b>									
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>											
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)								
-	(mm)										
3/4"	19	510.00	24.40	24.40							
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19							
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00							
Platillo		1045.00	50.00	100.00							
Total		2090.00	100.00	-							
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		<b>C</b>									
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>											
1	No recipiente			100							
2	W recipiente (gr)			176.66							
3	W recipiente sw (gr)			350.05							
4	W recipiente s (gr)			343.45							
5	W w : 3-4 (gr)		-	6.60							
6	W s : 4-2 (gr)		-	166.79							
7	ω : 100*5/6 (%)		-	3.96							
8	ω promedio (%)			3.96							
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>		<b>5.00</b>									
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> (1 %))</b>											
9	W sw (gr)			7000.00							
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6733.55							
11	ω (%)			5.00							
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			70.23							
13	ΔVw <sub>2</sub> (1 %) : (1)*10/100 (cc)			67.34							
<b>OCH (%)</b>		<b>5.00</b>									
<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>		<b>2.27</b>									
<b>No DE ENSAYO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>						
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>											
14	No molde				6"						
15	V molde (cc)				2129.0000						
16	W molde (gr)				6470.00						
17	W molde sw (gr)	11410.00	11545.00	11570.00							
18	W sw : 17-16 (gr)	4940.00	5075.00	5100.00							
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.32	2.38	2.40							
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>											
20	No recipiente	T-6	T-5	T-1	T-2	100	238				
21	W recipiente (gr)	168.77	118.21	118.57	118.09	176.66	174.73				
22	W recipiente sw (gr)	404.57	399.19	384.96	339.67	413.12	360.48				
23	W recipiente s (gr)	396.40	389.74	368.85	326.20	400.81	350.08				
24	W w : 22-23 (gr)	8.17	9.45	16.11	13.47	12.31	10.40	-	-	-	-
25	W s : 23-21 (gr)	227.63	271.53	250.28	208.11	224.15	175.35	-	-	-	-
26	ω : 100*24/25 (%)	3.59	3.48	6.44	6.47	5.49	5.93	-	-	-	-
27	ω promedio (%)		3.53		6.45		5.71		3.53		3.53
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>											
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.24		2.24		2.27		2.24		2.24
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>											
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)		2.48		2.31		2.35		2.48		2.48



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18. Proctor Modificado (Adicionando 4% de Bischofita)**

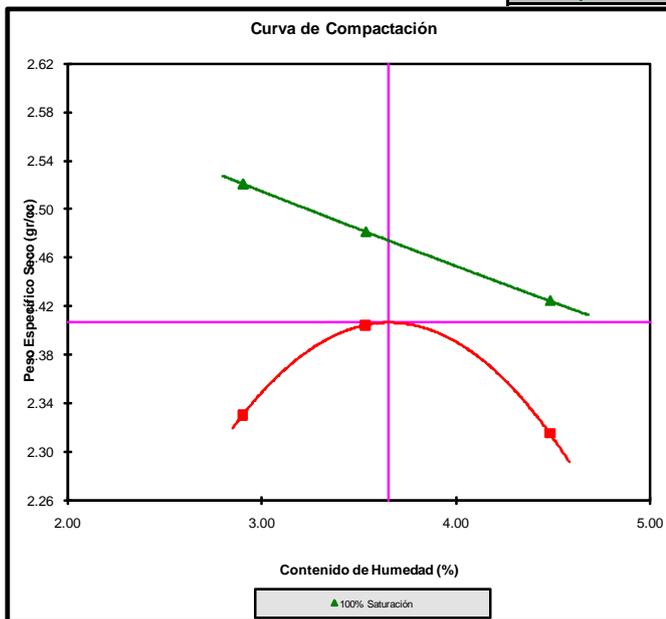
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO			
				#REF!			
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>				2.72			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>							
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)				
-	(mm)						
3/4"	19	510.00	24.40	24.40			
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19			
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00			
Platillo		1045.00	50.00	100.00			
Total		2090.00	100.00				
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				C			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>							
1	No recipiente			23			
2	W recipiente (gr)			20.40			
3	W recipiente sw (gr)			166.19			
4	W recipiente s (gr)			164.08			
5	W w : 3-4 (gr)		-	2.11			
6	W s : 4-2 (gr)		-	143.68			
7	ω : 100*5/6 (%)		-	1.47			
8	ω promedio (%)			1.47			
<b>O.C.H. PROBABLE</b>		(%)		5.00			
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>i</sub> y ΔVw<sub>1</sub> (%))</b>							
9	W sw (gr)			7000.00			
10	W s : 100*9/(100+8)			6898.69			
11	ω (%)			5.00			
12	ΔVw <sub>i</sub> : (11- 8)*10/100			243.62			
13	ΔVw <sub>1</sub> (%) : (1)*10/100			68.99			
		<b>OCH</b>		(%) 3.45			
		<b>γd max</b>		(gr/cc) 2.39			
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4	5	
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>							
14	No molde					6"	
15	V molde (cc)					2129.0000	
16	W molde (gr)					6470.00	
17	W molde sw (gr)	11670.00	11720.00	11455.00			
18	W sw : 17-16 (gr)	5200.00	5250.00	4985.00			
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.44	2.47	2.34			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>							
20	No recipiente	3	7	236	241	227	231
21	W recipiente (gr)	173.98	165.57	184.22	176.01	176.06	187.24
22	W recipiente sw (gr)	364.81	339.50	313.13	373.82	347.83	326.63
23	W recipiente s (gr)	357.51	332.80	308.98	367.77	343.46	323.26
24	W w : 22-23 (gr)	7.30	6.70	4.15	6.05	4.37	3.37
25	W s : 23-21 (gr)	183.53	167.23	124.76	191.76	167.40	136.02
26	ω : 100*24/25 (%)	3.98	4.01	3.33	3.15	2.61	2.48
27	ω promedio (%)		3.99		3.24		2.54
						3.99	3.99
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γd)</b>							
28	γd : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.35	2.39	2.28	2.35	2.35
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)</b>							
29	γd : 100*Ss/(100+Ss*27) (gr/cc)		2.45	2.50	2.54	2.45	2.45



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19. Proctor Modificado (Adicionando 5% de Bischofita)**

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO			
				#REF!			
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>				2.72			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>							
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)				
-	(mm)						
3/4"	19	510.00	24.40	24.40			
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19			
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00			
Platillo		1045.00	50.00	100.00			
Total		2090.00	100.00				
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		C					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>							
1	No recipiente			T-1			
2	W recipiente (gr)			117.14			
3	W recipiente sw (gr)			369.00			
4	W recipiente s (gr)			365.97			
5	W w : 3-4 (gr)			3.03			
6	W s : 4-2 (gr)			248.83			
7	ω : 100*5/6 (%)			1.22			
8	ω promedio (%)			1.22			
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>		5.00					
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> (1 %))</b>							
9	W sw (gr)			7000.00			
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6915.79			
11	ω (%)			5.00			
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			261.58			
13	ΔVw <sub>2</sub> (1 %) : (1)*10/100 (cc)			69.16			
<b>OCH (%)</b>		3.65					
<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>		2.41					
<b>No DE ENSAYO</b>	1	2	3	4	5		
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>							
14	No molde				6"		
15	V molde (cc)				2129.0000		
16	W molde (gr)				6470.00		
17	W molde sw (gr)	11575.10	11770.00	11620.35			
18	W sw : 17-16 (gr)	5105.10	5300.00	5150.35			
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.40	2.49	2.42			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>							
20	No recipiente	230	238	302	315	16	18
21	W recipiente (gr)	176.63	173.91	178.30	173.09	184.01	172.35
22	W recipiente sw (gr)	327.51	329.04	411.49	424.92	403.85	412.78
23	W recipiente s (gr)	323.39	324.53	403.27	416.61	394.25	402.65
24	W w : 22-23 (gr)	4.12	4.51	8.22	8.31	9.60	10.13
25	W s : 23-21 (gr)	146.76	150.62	224.97	243.52	210.24	230.30
26	ω : 100*24/25 (%)	2.81	2.99	3.65	3.41	4.57	4.40
27	ω promedio (%)		2.90		3.53		4.48
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>							
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.33		2.40		2.32
						2.33	2.33
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>							
29	γ <sub>d</sub> : 100*Ss/(100+Ss*27) (gr/cc)		2.52		2.48		2.42
						2.52	2.52



Fuente: Elaboración propia.

Cantera Romaña.

**Cuadro 18. Ensayos Básicos**

N° DE ENSAYO		1	2
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( <math>\omega</math> % )</b>			
1	N° recipiente ( gr. )	2	8
2	W recipiente ( gr. )	20.47	20.71
3	W recipiente sw ( gr. )	138.06	116.16
4	W recipiente s ( gr. )	133.43	111.64
5	Ww : 3-4 ( gr. )	4.63	4.52
6	Ws : 4-2 ( gr. )	112.96	90.93
7	$\omega$ : 100* 5/6 ( % )	4.10	4.97
8	$\omega$ : promedio ( % )	4.53	

PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss )			
1	N° frasco	5	
2	W Frasco w ( gr. )	649.44	
3	W Frasco sw ( gr. )	758.88	
4	N° recipiente	ELI-10	
5	W recipiente ( gr. )	256.74	
6	W recipiente s ( gr. )	429.39	
7	Ws : 6-5 ( gr. )	172.65	
8	Ss : 7/ (2-3+7)	2.73	
9	Ss : promedio	2.73	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Análisis Granulométrico.

CONTENIDO DE HUMEDAD  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D2216  
ASTM D422

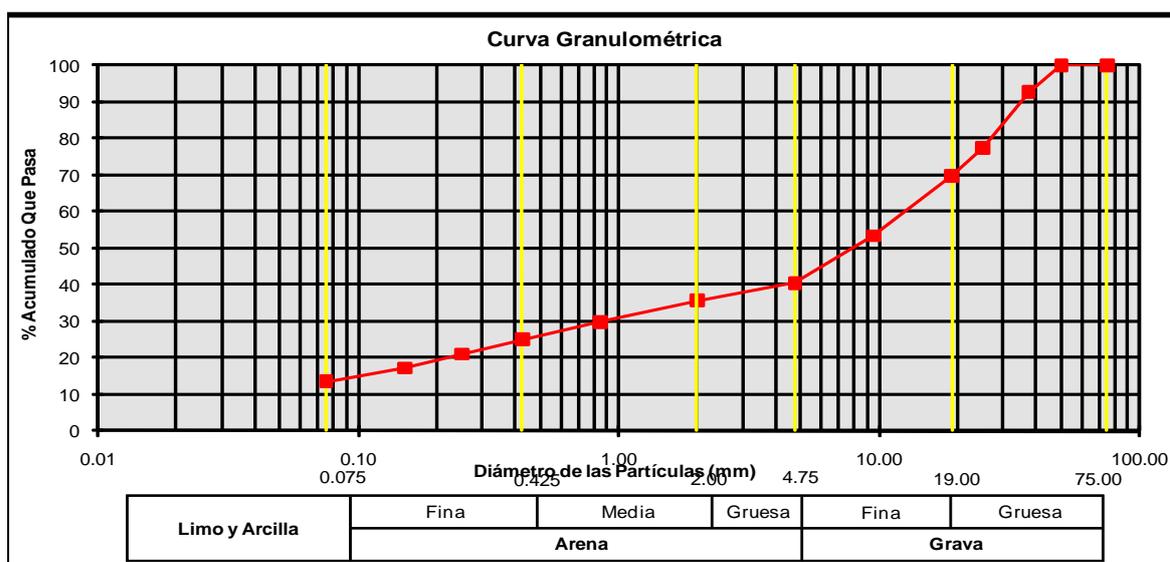
CODIGO
0

CONTENIDO DE HUMEDAD ( $\omega$ )		
1	No recipiente	LMSA IV
2	W recipiente (gr)	595.00
3	W recipiente sw (gr)	6600.00
4	W recipiente s (gr)	6339.00
5	W w : 3-4 (gr)	261.00
6	W s : 4-2 (gr)	5744.00
7	$\omega$ : 100*5/6 (%)	4.54

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5810.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	5215.00
10	W s fino (platillo) (gr)	12.00
11	W Total Parcial Retenido (gr)	5210.90
12	$\Delta W$ : 9-11 (gr)	4.10
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	541.00
14	% finos : 100*13/6 (%)	9.42
15	Error : 100*12/9 (%)	0.08

D10 (mm)	0.08
D30 (mm)	0.43
D60 (mm)	12.18
Cu = D60/D10	> 99
Cc = D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)	0.19

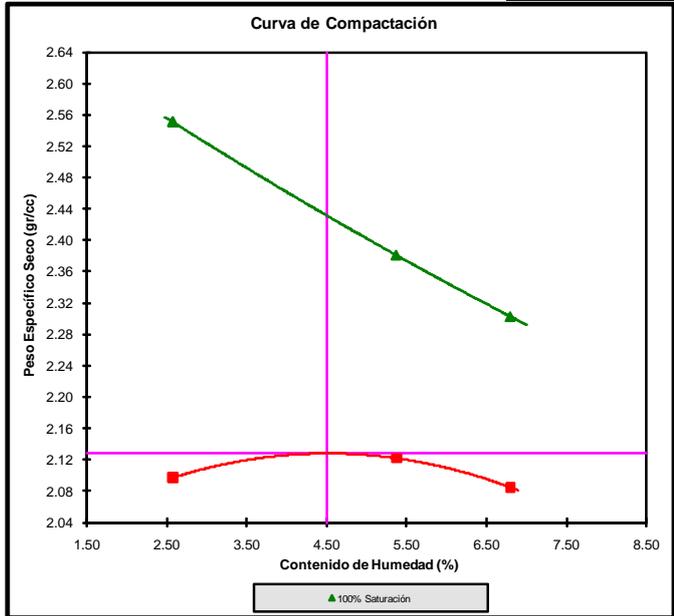
Tamiz	Peso Parcial Retenido	Peso Parcial Retenido Corregido	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que Pasa
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	247.30	4.31	4.31	95.69
1 1/2"	37.500	143.40	2.50	6.80	93.20
1"	25.000	740.30	12.89	19.69	80.31
3/4"	19.000	442.70	7.71	27.40	72.60
3/8"	09.500	1123.60	19.63	47.03	52.97
No 004	04.750	551.90	9.61	56.64	43.36
No 010	02.000	432.30	7.53	64.16	35.84
No 020	00.850	201.50	3.51	67.67	32.33
No 040	00.425	135.20	2.35	70.03	29.97
No 060	00.250	196.50	3.42	73.45	26.55
No 100	00.150	455.50	7.93	81.38	18.62
No 200	00.075	528.70	9.20	90.58	9.42
Platillo	12.00	541.00	9.42	100.00	0.00
Total	5210.90	5744.00	100.00	-	-



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Proctor Modificado (Sin Aditivo)

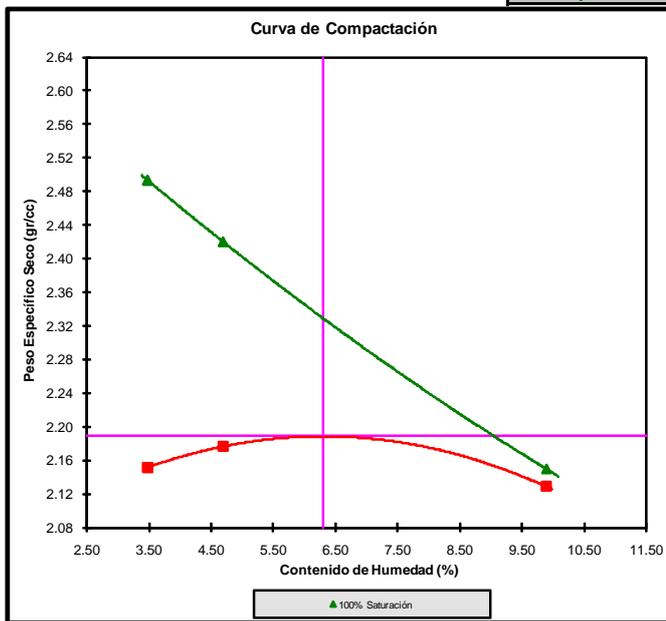
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S<sub>s</sub>)</b>				2.73	
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>					
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				C	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω<sub>1</sub>)</b>					
1	No recipiente			2	
2	W recipiente (gr)			20.47	
3	W recipiente sw (gr)			138.06	
4	W recipiente s (gr)			133.43	
5	W w : 3-4 (gr)			4.63	
6	W s : 4-2 (gr)			112.96	
7	ω : 100*5/6 (%)			4.10	
8	ω promedio (%)			4.10	
<b>O.C.H. PROBABLE</b> (%)				4.50	
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw (1 %))</b>					
9	W sw (gr)			7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6724.38	
11	ω (%)			4.50	
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			26.98	
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100 (cc)			67.24	
				OCH (%)	4.50
				γ <sub>d</sub> max (gr/cc)	2.13
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>					
14	No molde			6"	
15	V molde (cc)			2129.0000	
16	W molde (gr)			6470.00	
17	W molde sw (gr)	11050.00	11230.00	11210.00	
18	W sw : 17-16 (gr)	4580.00	4760.00	4740.00	
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.15	2.24	2.23	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
20	No recipiente	212	231	223	224
21	W recipiente (gr)	178.05	187.23	175.04	175.15
22	W recipiente sw (gr)	345.66	334.95	397.41	395.94
23	W recipiente s (gr)	342.15	330.62	385.82	384.94
24	W w : 22-23 (gr)	3.51	4.33	11.59	11.00
25	W s : 23-21 (gr)	164.10	143.39	210.78	209.79
26	ω : 100*24/25 (%)	2.14	3.02	5.50	5.24
27	ω promedio (%)		2.58	5.37	6.80
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>					
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.10	2.12	2.08
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturación) (γ<sub>d</sub>)</b>					
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)		2.55	2.38	2.30



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Proctor Modificado (Adicionando 3% de Bischofita)**

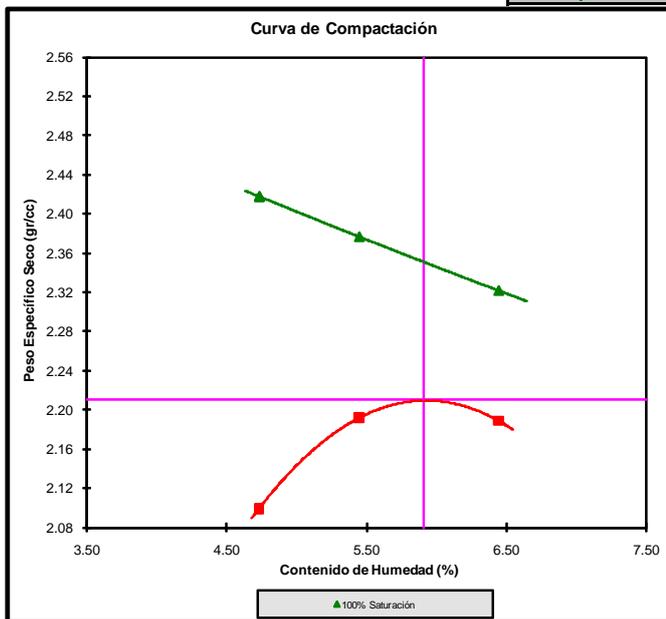
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO						
				#REF!						
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>				2.73						
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>										
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>						
-	(mm)									
3/4"	19	510.00	24.40	24.40						
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19						
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00						
Platillo		1045.00	50.00	100.00						
Total		2090.00	100.00							
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				C						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>										
1	No recipiente			8						
2	W recipiente (gr)			20.71						
3	W recipiente sw (gr)			116.16						
4	W recipiente s (gr)			111.64						
5	W w : 3-4 (gr)			4.52						
6	W s : 4-2 (gr)			90.93						
7	ω : 100*5/6 (%)			4.97						
8	ω promedio (%)			4.97						
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>				5.00						
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> (1 %))</b>										
9	W sw (gr)			7000.00						
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6668.52						
11	ω (%)			5.00						
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			1.94						
13	ΔVw <sub>2</sub> (1 %) : (1)*10/100 (cc)			66.69						
<b>OCH (%)</b>				6.30						
<b>γd max (gr/cc)</b>				2.19						
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4	5				
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>										
14	No molde					6"				
15	V molde (cc)					2129.0000				
16	W molde (gr)					6470.00				
17	W molde sw (gr)	11210.00	11321.00	11450.00						
18	W sw : 17-16 (gr)	4740.00	4851.00	4980.00						
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.23	2.28	2.34						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>										
20	No recipiente	T-3	T-4	EII-500	T-5	241	302			
21	W recipiente (gr)	114.25	118.86	205.60	118.20	175.83	178.17			
22	W recipiente sw (gr)	343.22	389.96	424.57	286.35	464.16	447.42			
23	W recipiente s (gr)	335.72	380.60	414.50	279.01	438.83	422.64			
24	W w : 22-23 (gr)	7.50	9.36	10.07	7.34	25.33	24.78	-	-	-
25	W s : 23-21 (gr)	221.47	261.74	208.90	160.81	263.00	244.47	-	-	-
26	ω : 100*24/25 (%)	3.39	3.58	4.82	4.56	9.63	10.14	-	-	-
27	ω promedio (%)		3.48		4.69		9.88		3.48	3.48
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γd)</b>										
28	γd : 100*19/(100+27) (gr/cc)		2.15		2.18		2.13		2.15	2.15
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)</b>										
29	γd : 100*Ss/(100+Ss*27) (gr/cc)		2.49		2.42		2.15		2.49	2.49



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23. Proctor Modificado (Adicionando 4% de Bischofita)**

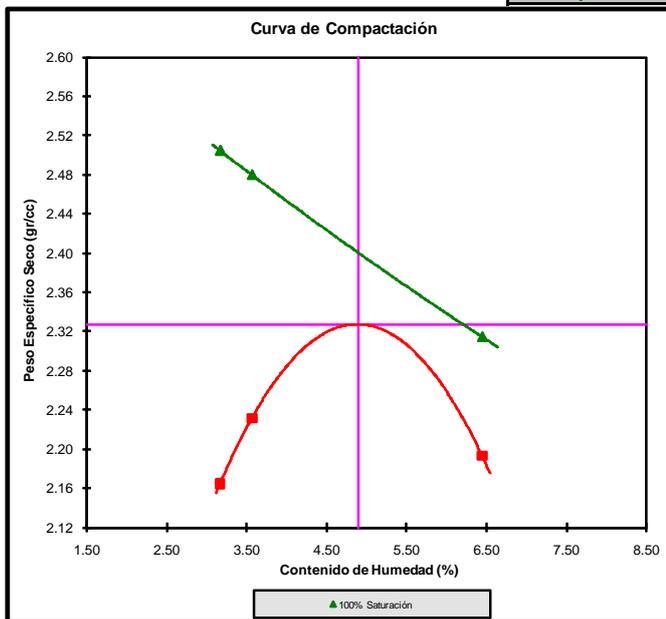
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>				2.73	
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>					
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
<b>METODO DE COMPACTACION</b>				C	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
1	No recipiente			8	
2	W recipiente (gr)			20.71	
3	W recipiente sw (gr)			116.16	
4	W recipiente s (gr)			111.64	
5	W w : 3-4 (gr)		-	4.52	
6	W s : 4-2 (gr)		-	90.93	
7	ω : 100*5/6 (%)		-	4.97	
8	ω promedio (%)			4.97	
<b>O.C.H. PROBABLE</b>				5.00	
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> (1 %))</b>					
9	W sw (gr)			7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6668.52	
11	ω (%)			5.00	
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			1.94	
13	ΔVw <sub>2</sub> (1 %) : (1)*10/100 (cc)			66.69	
				<b>OCH (%)</b>	5.91
				<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>	2.21
<b>No DE ENSAYO</b>		1	2	3	4
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>					
14	No molde				6"
15	V molde (cc)				2129.0000
16	W molde (gr)				6470.00
17	W molde sw (gr)	11150.52	11390.15	11430.20	
18	W sw : 17-16 (gr)	4680.52	4920.15	4960.20	
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.20	2.31	2.33	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
20	No recipiente	16	236	T-6	7
21	W recipiente (gr)	183.99	184.00	116.48	166.21
22	W recipiente sw (gr)	393.40	400.26	320.71	308.20
23	W recipiente s (gr)	382.71	391.78	310.58	300.58
24	W w : 22-23 (gr)	10.69	8.48	10.13	7.62
25	W s : 23-21 (gr)	198.72	207.78	194.10	134.37
26	ω : 100*24/25 (%)	5.38	4.08	5.22	5.67
27	ω promedio (%)	4.73		5.44	6.44
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>					
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)	2.10	2.19	2.19	2.10
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>					
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)	2.42	2.38	2.32	2.42



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Proctor Modificado (Adicionando 5% de Bischofita)**

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#jREF!	
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)</b>		<b>2.72</b>			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR</b>					
<b>Tamiz</b>		<b>Peso Parcial Retenido (gr)</b>	<b>% Parcial Retenido (%)</b>	<b>% Acum. Retenido (%)</b>	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
<b>METODO DE COMPACTACION</b>		<b>C</b>			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
1	No recipiente			23	
2	W recipiente (gr)			20.40	
3	W recipiente sw (gr)			166.19	
4	W recipiente s (gr)			164.08	
5	W w : 3-4 (gr)			2.11	
6	W s : 4-2 (gr)			143.68	
7	ω : 100*5/6 (%)			1.47	
8	ω promedio (%)			1.47	
<b>O.C.H. PROBABLE (%)</b>		<b>5.00</b>			
<b>INCREMENTO DE AGUA (ΔVw<sub>1</sub> y ΔVw<sub>2</sub> (1 %))</b>					
9	W sw (gr)			7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8) (gr)			6898.69	
11	ω (%)			5.00	
12	ΔVw <sub>1</sub> : (11- 8)*10/100 (cc)			243.62	
13	ΔVw <sub>2</sub> (1 %) : (1)*10/100 (cc)			68.99	
<b>OCH (%)</b>		<b>4.90</b>			
<b>γ<sub>d</sub> max (gr/cc)</b>		<b>2.33</b>			
<b>No DE ENSAYO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>PESO ESPECIFICO (γ)</b>					
14	No molde				6"
15	V molde (cc)				2129.0000
16	W molde (gr)				6470.00
17	W molde sw (gr)	11225.00	11390.00	11440.00	
18	W sw : 17-16 (gr)	4755.00	4920.00	4970.00	
19	γ : 18/15 (gr/cc)	2.23	2.31	2.33	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)</b>					
20	No recipiente	44	49	34	51
21	W recipiente (gr)	18.52	20.60	20.80	20.89
22	W recipiente sw (gr)	170.52	215.86	188.53	190.89
23	W recipiente s (gr)	165.48	210.36	182.45	185.36
24	W w : 22-23 (gr)	5.04	5.50	6.08	5.53
25	W s : 23-21 (gr)	146.96	189.76	161.65	164.47
26	ω : 100*24/25 (%)	3.43	2.90	3.76	3.36
27	ω promedio (%)		3.16		3.56
<b>PESO ESPECIFICO SECO (γ<sub>d</sub>)</b>					
28	γ <sub>d</sub> : 100*19/(100+27) (gr/cc)	2.16	2.23	2.19	2.16
<b>PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ<sub>d</sub>)</b>					
29	γ <sub>d</sub> : 100*S <sub>s</sub> /(100+S <sub>s</sub> *27) (gr/cc)	2.50	2.48	2.31	2.50



Fuente: Elaboración propia

### Cuadro 19. Resumen de Ensayos.

C. CARAPONGO S.A			C. FIRTH S.A			C. ROMAÑA S.A		
O.C.H.	5.52	%	O.C.H.	3.50	%	O.C.H.	4.50	%
$\gamma_d$ max	2.25	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.24	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.13	gr/cc
C. CARAPONGO + 3% A.			C. FIRTH + 3% A.			C. ROMAÑA + 3% A.		
O.C.H.	4.10	%	O.C.H.	4.10	%	O.C.H.	6.30	%
$\gamma_d$ max	2.26	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.26	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.19	gr/cc
C. CARAPONGO + 4% A.			C. FIRTH + 4% A.			C. ROMAÑA + 4% A.		
O.C.H.	4.80	%	O.C.H.	3.45	%	O.C.H.	5.91	%
$\gamma_d$ max	2.30	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.39	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.21	gr/cc
C. CARAPONGO + 5% A.			C. FIRTH + 5% A.			C. ROMAÑA + 5% A.		
O.C.H.	5.45	%	O.C.H.	3.65	%	O.C.H.	4.90	%
$\gamma_d$ max	2.33	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.41	gr/cc	$\gamma_d$ max	2.33	gr/cc

**Fuente:** Elaboración propia



**Imagen 11.** Ensayos de Laboratorio.

**Fuente:** Fotografiado propio, 2009.



**Imagen 12.** Ensayos de Laboratorio.

**Fuente:** Fotografiado propio, 2009.

### **A.3.HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DE LA COSTA PERUANA**

**Cuadro 20.** Resumen de Humedades Relativas.

<b>Departamento Costero</b>	<b>Oscilación de la Humedad relativa Promedio</b>
Tumbes	72 a 82%
Piura	72 a 84%
Lambayeque	61 a 82%
La Libertad	74 a 83%
Ancash	72 a 92%
Lima	74 a 100%
Ica	71 a 83%

Arequipa	46 a 76%
Moquegua	68 a 79%
Tacna	68 a 79%

**Fuente:** Senami

## CONCLUSIONES TECNICAS

1. El Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal muy Higroscópica (H.R.= 32%) por lo cual funcionaria muy bien en regiones con climas secos; Por consiguiente no es viable para la costa del Perú. (H.R. Mínima Promedio = 68%) ya que se sobrehidratría el suelo convirtiéndolo en muy resbaladizo.
2. El Cloruro de Calcio con su H.R.=42% se adecua mejor a las condiciones climáticas del Perú.
3. Para el Cloruro de Magnesio se necesitan altas cantidades para tener altas concentraciones (28%) que a comparación del cloruro de calcio no sucede así (40%).

## CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

1. Se comprobó el aumento de la máxima densidad seca conforme se le iba aumentando el porcentaje de aditivo (3%, 4% y 5%).
2. No se pudo comprobar el aumento del C.B.R. en el ensayo de Laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio.
4. El proceso de dosificación (Sal + Agua) lo hace un proceso tedioso y dependiente de otras partidas.
5. El cloruro de Magnesio necesita un estricto control de calidad (1.25 gr/ml) para tener una salmuera en óptimas condiciones; lo que sucede por el contrario con el cloruro de calcio que sale de fábrica con un control de calidad ya establecido (1.38 gr/ml - 1.42 gr/ml).
6. Las observaciones realizadas en campo muestran que en este caso en particular la Bischofita alcanza una vida útil máximo de 2 años sin necesidad de mantenimiento.
7. La puesta en servicio de la carretera se puede realizar en forma inmediata a la construcción, pero se recomienda dar el tránsito después de 48 horas, para evitar una posible erosión en la carretera.

8. Los tramos estudiados presentaron una buena terminación de la superficie de rodadura con la particularidad de presentarse siempre húmeda como recién regada, ya que capta la humedad ambiente.

## **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO**

1. El costo de estabilización por m<sup>2</sup> de Bischofita (70 Kg/m<sup>3</sup> y 90 Kg/m<sup>3</sup>) es de S/.12.27 y S/.15.81 N.S. respectivamente; lo que demuestra que es un producto muy costoso.
2. El costo de mantenimiento por m<sup>2</sup> de Bischofita (70 Kg/m<sup>3</sup> y 90 Kg/m<sup>3</sup>) es de S/.1.54 y S/. 1.79 N.S. respectivamente; lo que demuestra que es un producto muy costoso.
3. El costo de estabilización por m<sup>2</sup> de Cloruro de Calcio (48 Kg/m<sup>3</sup>) es de S/. 5.80 N.S.; lo que demuestra que es un producto económico.
4. El costo de mantenimiento por m<sup>2</sup> de Cloruro de Calcio (48 Kg/m<sup>3</sup>) es de S/. 1.48 N.S.; lo que demuestra que es un producto económico.
5. El 60% del Costo total del producto es el factor transporte. (Chile – Perú).

## **CONCLUSIONES DEL IMPACTO SOCIAL**

1. Los proyectos de estabilización para las carreteras de Bajo Volumen de Transito son “Bienes Públicos” que tienen diversos efectos –costos y beneficios- para distintos agentes sociales.

Los Beneficios de la estabilización pueden resumirse en:

- Incrementar y desarrollar nuevas actividades productivas.
- Incorporar áreas a las actividades turísticas.
- Disminuir los costos de transporte.
- Consolidar la soberanía nacional.
- Fomentar la integración regional.

Los Beneficiarios de los proyectos de estabilizadas son:

- Los habitantes de los pueblos por donde pasa la carretera.

- Los automovilistas que circulan por la carretera.
- Los peatones que circulan por la carretera.

## **CONCLUSIONES DEL IMPACTO AMBIENTAL**

1. De los estudios realizados y de las experiencias efectuadas se puede determinar que la Bischofita:

- Aplicada en una obra vial tiene un mediano impacto ambiental sobre el suelo.
- Tiene impacto ambiental sobre los recursos hídricos si la solución es derramada directamente sobre ellos.
- Es controlable con una adecuada aplicación.
- Aplicada no tiene impacto ambiental sobre la calidad del aire polvo levantado desde la carretera estabilizada.

2. Debe ser transportado con una hoja de seguridad. La Bischofita actúa como un supresor de polvo liberado en las carreteras a nivel de Afirmado.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

1. Se ha demostrado técnica, económica y ambientalmente que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene grandes desventajas frente al Cloruro de Calcio.

2. Con los grandes Salares los cuales se producen Cloruro de Calcio ubicados en Huacho y Lima se pueden estabilizar a un bajo costo las Carreteras de BVT de la Costa Norte, Centro y Sur del Perú.

3. Para las Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito es conveniente privilegiar la creación de carreteras más económicas que sería con el Cloruro de Calcio, el cual presenta mejores aspectos técnicos, económicos y ambientales.

4. El Cloruro de Calcio se puede utilizar como primera alternativa para la estabilización y habilitación de caminos temporales, ya que cumplen con las expectativas de economía y duración en zonas de la Costa Peruana.

## RECOMENDACIONES

1. No dejarse llevar por vendedores que ofrecen productos de otras regiones prometiendo que van a trabajar igual o mejor forma.
2. Aparte de las ventajas técnicas, económicas y ambientales demostradas a lo largo del presente informe de investigación; se debe tener en cuenta que al optar por el cloruro de calcio como aditivo estabilizador, se está optando por un producto 100% elaborado en el Perú.
3. Se recomienda la investigación acerca de otras sales que puedan producirse en el Perú y que puedan conformar nuevas alternativas para la estabilización de carreteras no pavimentadas.

# BIBLIOGRAFIA

- ALARCON IBARRA, Jorge. Estudio del comportamiento de mezclas Bituminosas recicladas en caliente en planta. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio Barcelona de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2003.
- CESPEDES ABANTO, José María. Los Pavimentos en las Vías Terrestres Calles, Carreteras y Aeropistas. Cajamarca – Perú, 2002.
- BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Bogotá: McGraw – Hill Latinoamericana, 1981.
- BRAJA M. Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición. International Thomson Editores. México, 2001.
- CAMPOS DINAMARCA, Gabriel y ESPINOSA ORELLANA, Esteban. “Análisis comparativo de la eficiencia de supresores de polvo mediante el uso del equipo DUSTMATE y el efecto económico para la conservación rutinaria y periódica de carpetas granulares”. En Memorias del 8ª Congreso Internacional Provia 2006. Dirección de Vialidad, Región del Maule.
- DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA. Definición de Zonas de la Carretera. Dirección de Obras Públicas y Transporte de la Provincia de Álava. País Vasco – España. Extraído el 10 de Junio de 2009 desde: [http://194.30.32.164/images/documentacion/tramo\\_carreteras.pdf](http://194.30.32.164/images/documentacion/tramo_carreteras.pdf)
- FORO INTERNACIONAL PARA EL TRANSPORTE RURAL Y EL DESARROLLO. “Alentando la capacidad de la sociedad civil para apoyar las políticas y programas de transporte en favor de los pobres en países en desarrollo”. En: Síntesis de los estudios de caso en la Región Latinoamericana. México: IFRTD, 2008.
- GARNICA ANGUAS, Paul et al. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación Técnica No.201. Instituto Mexicano del Transporte. Ciudad de México, 2002.

- GUILLERMO LUMBRERAS, Luis. QHAPAQÑAN. El camino de los incas. En: Calendario Tradicional Peruano. Fondo Editorial del Congreso del Perú. Lima, 2003.
- HINRICHSEN TRIVIÑOS, Nicole Natalia. Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: Frente a la acción del agua, para distintas mezclas. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile, 2005.
- JUAREZ BADILLO, Eulalia y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos (Tomo II). Editorial Limusa. México, 1996.
- LIPLATA PERU SA. Proyecto: Muestra de Aplicación de Roadmag como Estabilizador físico químico de carpeta granular y Tratamiento Supresor de Polvo (TSP). Informe Muestra N°. 2. Caminos rurales de la Municipalidad de Virú. Trujillo: 24 de Septiembre de 2007.
- \_\_\_\_ Informe Muestra N°. 3. Caminos de operación de la Sociedad Minera Cerro Verde. Ciudad de Arequipa: 19 Noviembre 2007.
- \_\_\_\_ Informe Muestra N°. 05. Caminos vecinales en Ccarapongo, Ciudad de Lima, Perú. Lima: 27 de Noviembre del 2008.
- MATEOS DE VICENTE, Manuel. “Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras”. En: Revista Cimbra, N° 373, Enero – Febrero 2007.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Aprobado por la Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02 del 04 de abril del año 2008.
- \_\_\_\_ Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Aprobado por la Resolución Ministerial N° 305-2008-MTC/02 del 04 de abril del año 2008.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, 2006.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, 2008.
- NACIONAL LIME ASSOCIATION. Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, Estabilización y Modificación con Cal. Publicación de la National Lime Association, Boletín 326, 2006.
- RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Segunda Edición. LIMUSA. México, 1984.
- SAAVEDRA CUEVAS, Ximena. Aplicación de la Bischofita a Caminos Costeros. Memoria presentada en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica del Norte, Antofagasta, 2006.
- SALGADO BOCAZ, Cristián. Diseño de Base tratada de Escoria de Vanadio con Asfalto espumado para Caminos Básicos. Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bio – Bio. Concepción, Noviembre del 2008.
- THENOUX, Guillermo y VERA, Sergio. Guía para la Aplicación de ROADMAG como Estabilizador de Caminos no Pavimentados. Dirección de Investigación Científica y Tecnológica del Centro de Ingeniería e Investigación Vial de la Universidad Católica de Chile. Santiago, Febrero del 2003.
- \_\_\_\_\_ Guía para la Aplicación de ROADMAG como Supresor de Polvo en Caminos no Pavimentados. Dirección de Investigación Científica y Tecnológica del Centro de Ingeniería e Investigación Vial de la Universidad Católica de Chile. Santiago, Febrero del 2003.

# RESUMEN

Las sales han sido estudiadas, con fines de estabilización de carreteras, desde hace varias décadas; entre las diversas opciones de sales estudiadas con fines de utilizarlos como aditivo estabilizador tenemos al cloruro de potasio, el cloruro de magnesio, el cloruro de bario, el nitrato de sodio, el carbonato de sodio, el cloruro de calcio, el cloruro de sodio, entre otros; sin embargo y por razones económicas, solo algunas de las sales antes mencionadas han podido ser aplicadas como aditivo en la estabilización de carreteras.

De las diversas opciones de estabilización de carreteras usando sales, en la presente investigación se analiza las ventajas técnicas, económicas y ambientales que se obtiene de aplicar el cloruro de Magnesio (Bischofita) en comparación con el cloruro de Calcio, producto que se intenta introducir (Bischofita) para estabilizar carreteras en el Perú frente al empleo del cloruro de calcio, ampliamente conocido en nuestro país. El presente informe de investigación que presentamos se estructuro en nueve capítulos que cubren aspectos generales relacionados con el tema de investigación (Capítulo I ), un marco teórico acerca de las carreteras no pavimentadas (Capítulo II ), el proceso de estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas (Capítulo III), el caso de estabilización con cloruro de calcio (Capítulo IV), el caso de estabilización de carreteras con Bischofita (Capítulo V), la metodología seguida en el trabajo de campo (Capítulo VI), la evaluación económica de los Aditivos (Capítulo VII), la determinación de las ventajas técnicas de los aditivos (Capítulo VIII) y la determinación del impacto ambiental de los aditivos estabilizadores (Capítulo IX); además, el presente informe de investigación presenta otras secciones tales como las conclusiones, recomendaciones, anexos, bibliografía consultada entre otros, que complementan y expresan en forma sintética los resultados y otros aspectos relevantes de la presente investigación que dejamos a su consideración.