



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela Ingeniería Civil en Obras Civiles

## "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.

Profesor Patrocinante: Sr. Luis  
Collarte Concha. Ingeniero Civil  
Hidráulico.

NICOLE NATALIA HINRICHSEN TRIVIÑOS.

VALDIVIA - CHILE

2005

## AGREDECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de esta tesis, por su gran voluntad de ayudar, estando siempre dispuestos a dedicar un poco de su tiempo, destacando a:

- ✓ Anastasio Riquelme Jefe de Conservación Vialidad - Valdivia.
- ✓ Cristian Solís Jefe Área Geotecnia Vialidad - Santiago.
- ✓ Jaime Kramm Jefe Provincial Vialidad - Valdivia.
- ✓ Luis Berrios Jefe Laboratorio Vialidad - Valdivia.
- ✓ A todo el personal del Lemco.

A las personas que me han apoyado incondicionalmente y  
confiado en mi en todo momento en mi caminar de estudiante...

## INDICE

<b>CAPITULO I</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO</b>	<b>Página</b>
1.1 .-	Introducción.....	1
1.2.-	Objetivo.....	2
1.3.-	Experiencias en Chile.	
1.3.1.-	Reseña Histórica.....	3
<b>CAPITULO II</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	
2.1.-	Métodos de Estabilización de Suelos.	
2.1.1.-	Estabilización Mecánica.....	4
2.1.2.-	Estabilización química.....	4
2.1.3.-	Algunos estabilizadores mas comunes.....	5
2.2.-	Avances del Programa Caminos Básicos 5000	
2.2.1.-	Avance año 2003.....	10
2.2.2.-	Situación año 2004.....	11
2.3.-	Estabilización de suelo con aditivo salino	
2.3.1.-	La sal.....	15
2.3.2.-	Campo de aplicación.....	15
2.4.-	Ventajas y desventajas que proporciona la sal	
2.4.1.-	Ventajas.....	16
2.4.2.-	Desventajas.....	17
2.5.-	Descripción de los materiales componentes para una estabilización con sal.	
2.5.1.-	Agregados.....	18
2.5.2.-	Sal para estabilizado.....	19
2.5.3.-	Arcillas.....	20
2.5.3.1.-	Acción del Cloruro de Sodio en los minerales arcillosos.....	20
2.5.3.2.-	Reacción entre el cloruro de sodio y el agua del suelo.....	21
2.5.3.3.-	Cristalización del Cloruro de Sodio.....	22

2.6- Uso de la sal como estabilizador químico aspectos ambientales y territoriales	
2.6.1- Contexto general.....	22
2.6.2- Desde una perspectiva ambiental.....	22
2.6.3.-Norma técnicas nacionales.....	24
2.6.4.- Nch 2505.....	24
2.6.4.1.- Alcance y campo de aplicación.....	25
2.6.4.2.- Aspectos mas relevantes normados por la ley.....	25
2.6.4.3.- Estudio de Super sal lobos, la universidad técnica Federico santa Maria y la dirección de Vialidad V región.	26
2.6.4.4.- Efectos de la salinidad sobre el suelo y las plantas.....	28
2.6.4.5.- Medición de la salinidad.....	30
2.6.4.6.- Efectos de la salinidad sobre los vehículos.....	30
2.7.- Secuencia tipo de trabajo para un camino estabilizado con sal.....	31
2.8.-Pasos constructivos recomendados para el caso de estabilizar el suelo existente.	33
2.9.- Requerimiento de equipos para una buena colocación del aditivo.....	34
2.10.- Mantencion de caminos estabilizados con sal.....	35
2.11.-Ejemplo especificaciones técnicas para una estabilización con sal (m³).....	36
2.11.1.- Descripción y alcances.....	36
2.11.2.- Procedimiento de trabajo.....	37
2.11.3.- Medición y pago.....	38

### **CAPITULO III      ANTECEDENTES DE LA DECIMA REGION**

3.- Antecedentes de carpeta granulares tratadas con sal en la región de los lagos por la dirección de vialidad.	
3.1.- Generalidades.....	39
3.1.1.- Experiencia en terreno.....	39
3.2.- Comportamiento de los caminos intervenidos a la fecha.....	40
camino Huanehue – paso Carririñe y Huichahue en el sector de Reúmen, comuna de Paillaco .	
3.3.- Algunas conclusiones preliminares.....	45

## **CAPITULO IV ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES**

4.- Ensayo de laboratorio	
4.1.- Generalidades.....	46
4.2.- Estabilizador patrón.....	47
4.2.1.- Clasificación del suelo según el sistema A.A.S.T.H.O Y U.S.C.S.....	47
4.3.- Producto estabilizante.....	48
4.3.1.- Propiedades de desempeño del producto estabilizante.....	48
4.4.- Determinación de la dosificación de sal.....	50
4.5.- Desarrollo de trabajo en laboratorio.....	51
4.5.1.- Ensayes de rutina.....	52
4.5.2.- Ensaye especial.....	52
4.5.3.- Recomendaciones.....	52
4.6.- Granulometría.....	54
4.7.- Límites de consistencia.....	54
4.8.- Relación Humedad-Densidad.....	57
4.9.- Densidad Compactada Seca.....	59
4.10.- Capacidad de Soporte (CBR).....	61
4.11.- Prueba de compresión no confinada (ASTM D 2166 – 00).....	64
4.11.A.- Resistencia a la compresión no confinada.....	64
4.11.B.- Preparación de la mezcla suelo – sal.....	64
4.11.C.- Preparación de la probeta.....	65
4.11D.- Moldeo de la probeta.....	66
4.11.E.- Curado de las probetas.....	66
4.11.F.- Curado húmedo.....	67
4.11.G.- Inmersión en agua.....	67
4.11.H.- Variación del contenido de humedad.....	67
4.12.- Procedimiento de ensaye no confinado.....	67
4.13.- Análisis de resultados.....	69

## **CAPITULO V ESTUDIO DE COSTOS COMPARATIVOS CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL ASFALTICO SIMPLE**

5.- Estudio de costos comparativos con Tratamiento Superficial Asfáltico Simple	
5.1.- Bases de cálculo.....	71
5.2.- Confección de la carpeta.....	71
5.2.1.- Costo de construcción de carpeta de rodado.....	72

5.2.2.- Costo del NaCl según lo requerido para elaboración de carpeta .....73	
de rodado.	
5.2.3.- Costo de estabilizar el camino con sal.....73	
5.3.- Costos de mantención camino con sal.....73	
5.4.- Costo carpeta de rodado Tratamiento Superficial Simple.....74	
5.5.- Costo mantención camino con Tratamiento Superf. Simple.....75	
5.6.-Evaluación de los costos actualizados de ambas alternativas.....76	
5.7.- Análisis de la evaluación económica.....80	

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES**

5.- Conclusiones.....82	
-------------------------	--

BIBLIOGRAFÍA.....85	
---------------------	--

ANEXO 1 HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (HDS ).....88	
--	--

ANEXO 2 RESULTADOS LABORATORIO.....93	
---------------------------------------	--

ANEXO 3 GLOSARIO.....109	
--------------------------	--

ANEXO 4 FORMULARIO 4.....111	
------------------------------	--

ANEXO 5 IMPACTO SOBRE EL AMBIENTE DE CAMINOS .....112	
TRATADOS CON SAL	

## INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

Tabla N° 2.a. Cantidad estimativa de obras proyectada para el periodo 2003 – 2006.....	9
Tabla N°2.b. Cantidad de obra con sal por región hasta el 2003.....	10
Tabla N°2.d. Resumen de obra e inversión programada para el año 2004 (junio2004).....	14
Tabla N° 2.f. Normas chilenas.....	24
Tabla N° 4.a. Clasificación del suelo patrón.....	47
Tabla 4.b. Características físicas y químicas del producto estabilizante.....	48
Tabla 4.c. Estabilidad y reactividad.....	48
Tabla 4.d. Medidas de lucha contra incendio.....	49
Tabla 4.e. Manipulación y almacenamiento.....	49
Tabla 4.f. Medida para control de derrame o fuga.....	49
Tabla 4.g. Control de exposición / Protección especial.....	49
Tabla 4.h. Información toxicologica.....	50
Tabla N° 4.i. Índice de plasticidad.....	50
Tabla N°4.j. Dosificación de sal.....	51
Tabla N° 5.6.a. Costo Estabilización con Cloruro de Sodio.....	77
Tabla N° 5.6.b. Costo Estabilización con Tratamiento Superficial Simple.....	78
Tabla N° 5.6.c. Diferencia de costo actualizado entre ambas.....	79
alternativas estudiadas	
Gráfico N°2.c. Distribución de las Soluciones en Caminos Básicos año 2003.....	11
Gráfico N°2.e. Distribución de las Soluciones en Caminos Básicos año 2004.....	13
Gráfico N° 2.f . Resultado de medición de material particulado total.....	27
en suspensión (PTS).	
Gráfico N° 2.g .Medición de contaminación de napa subterránea.....	28
Gráfico N° 4.k. Granulometría Clasificación GP- GM.....	54
Gráfico N° 4.l. Limite liquido para las distintas formas de adicionar la sal.....	55
Gráfico N° 4.m. Limite Plástico para las distintas formas de adicionar la sal.....	55
Grafico N°4.n. Índice de Plasticidad para las distintas formas de adicionar la sal.....	56
Gráficos N°4.ñ. Humedad optima para las distintas formas de adicionar la sal.....	57
Gráfico N°4.o. Resumen de la humedad optima para las distintas formas de.....	59
adicionar la sal.	
Gráficos N°4.p. Densidad compactada seca para las distintas formas de.....	59
adicionar la sal	
Gráfico N°4.q. Resumen variación de D.M.C.S de las distintas formas de.....	60
adicionar la sal	



Gráfico N°4.r Capacidad de Soporte C.B.R ; s/inmersión para las distintas .....61	
formas de adicionar la sal.	
Gráfico N°4.s. Capacidad de Soporte C.B.R ; c/inmersión para las distintas.....62	
formas de adicionar la sal	
Gráfico N°4.t. Resumen Capacidad de Soporte C.B.R para las distintas .....63	
formas de adicionar la sal.	
Gráfico N°4.u. Ensayo compresión no confinada.....68	
Gráfico N°4.v. Variación de las humedades a través del tiempo.....68	
Gráfico N°4.w. Variación del contenido de humedad.....69	

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se expone el uso de la sal como estabilizador químico de suelos, observando los efectos del agua sobre éste. Además, se presentan los resultados de distintas formas de adicionar el Cloruro de Sodio y así observar cual es su comportamiento. También se analizan algunos aspectos de este proceso, a través de los resultados obtenidos dentro del laboratorio, para así tener más antecedentes de evaluación de carpetas de rodado en la ciudad de Valdivia, con tamaño máximo 2”.

Para esto se estimó conveniente que el análisis fuese hecho a través de un suelo entregado por Vialidad , cuyo pozo se encuentra ubicado en la comuna de La Unión, al cual se le agregó Cloruro de Sodio en distintas formas.

## **SUMMARY**

In the following research, the use of salt as a chemical ground stabilizer will be exposed, the effect of water on salt will be also studied. In addition, the results of different forms of adding Sodium Chloride will be presented so as to observe its behavior. Some aspects of the process carried out in the laboratory will be also analyzed, so as to obtain more evaluation records of rolling folders in the city of Valdivia, with a maximum size 2”.

For the convenience of this study, the analysis was done with soil delivered by “Vialidad-Valdivia”, whose well is located in La Union. Sodium Chloride was added to this soil in different ways.

## INTRODUCCIÓN

El principal empleo de los procesos de estabilización de suelos se relaciona con la construcción de caminos, aeropuertos y obras similares. En el caso de los caminos es notorio, en los últimos años, un gran incremento en el número de vehículos, una mayor diversificación de estos y de las acciones que producen sobre las carreteras. Todo esto ha redundado en un aumento de la importancia que presentan los procesos de mejoramiento de las vías. Cada día las bases, sub-bases y carpetas de rodado deben presentar mejores condiciones de soporte y duración, a la vez que menores costos de construcción y mantención. Por esta razón se ha intensificado el estudio de la estabilización química, la cual permite modificar ciertas características de los suelos mediante la adición de pequeñas cantidades relativas de compuestos químicos. Estos producen reacciones físico-químicas con las fracciones finas de los suelos obteniendo resultados a veces sorprendentes desde el punto de vista técnico y económico. Algunas de las posibilidades de estabilización química la constituyen el agregar cemento Pórtland, ceniza volcánicas, cal, cloruro de calcio, cloruro de sodio, etc.

La estabilización con sal es una solución que permite proporcionar a los caminos ciertas características que mejoran la serviciabilidad y transitabilidad de estos.

Por lo tanto, desde siempre ha estado presente la necesidad de realizar una estabilización de suelo durable y a la vez económica. Por esto, en los alrededores de Valdivia, específicamente en ciudad de Panguipulli y Reúmen se utilizó estabilización química con Cloruro de Sodio, con granulometrías no controladas y con material de sobretamaño.

Debido a eso la evaluación preliminar no es muy favorable para la intervención de carpetas con sal. Sin embargo es de importancia experimentar en la Región con la intervención de calzadas con carpeta de rodado dosificadas tamaño máximo 2". Y así poder tener una visión de cómo se comportaría en esta zona ya que la experiencia tanto práctica como teórica ha sido bastante reducida..

Al aplicar sal a los caminos, la superficie se rigidiza y con esto disminuye el desprendimiento de polvo, logrando un mínimo impacto ambiental.

## 1.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo de memoria es estudiar la estabilización de caminos con sal y ver su comportamiento con distintas formas de adicionar la sal.

Específicamente se persigue en este trabajo experimentar en la Región de Valdivia con carpetas granulares dosificadas tamaño máximo 2" para contar con más antecedentes de evaluación en la estabilización de suelos con sal.

El suelo utilizado fue obtenido de un pozo de Vialidad llamado San Javier ubicado en La Unión Comuna de Río bueno, su clasificación por el método AASHTO es A – 1a y por el Unificado GP – GM.

Además de ver el comportamiento y cual es la mejor forma de adicionar la sal, ya sea en forma de : salmuera, granel y mitad granel mitad salmuera.(50% - 50%), contrastando el comportamiento de cada una de las muestras bajo las mismas condiciones; mismo tipo de suelo e igual dosificación de sal.

Este trabajo se llevara a cabo con la finalidad de buscar una alternativa más eficiente y económica para el mejoramiento de los caminos sin pavimentar.

Esto va vinculado directamente con analizar los datos de los ensayos de laboratorio realizados en las dependencias de la Universidad Austral de Chile LEMCO para ver si es o no factible llevarlo a la práctica.

Con esto analizaremos sus propiedades mecánicas y los costos que implica la utilización de sal en la estabilización y ver como se comporta la sal con distintas formas de adicionarla.

Será necesario ver granulometría, Limites de Consistencia, Proctor , CBR y compresión no confinada ya que son los factores primordiales para comparar los resultados en relación al suelo patrón.

### **1.3.- Experiencias en Chile**

#### **1.3.1.- Reseña Histórica**

En el extranjero, Estados Unidos y Canadá han sido los pioneros en este sistema y ya tiene más de 80.000 km. Estabilizados con esta técnica, pudiendo citarse los Estados de Lousiana, Mitigan, Nueva Cork, Ohio, Colorado, California, Montana, Notario, India y Oregón.

En Chile, contamos con más de 1.100 km.<sup>1</sup> Estabilizado con Road Salt, destacándose:

La gran Minería, en su zona norte, compañías mineras como Salinas Punta de Lobos, Quebrada Blanca, Doña Inés de Collahuasi, Cerro Colorado, Cerro Páranla, Lomas Bayas, El Indio , y en la zona central, El Soldado, Andina, Teniente, Disputada de Las Condes, Las Tórtolas.

En la localidad como los Molles, Alhue, Peñalolen, Quilicura, Huechuraba, Escuela Veterinaria de la U. De Chile, Universidad Santa Maria de Valparaíso, Litueche, han empleado Road Salt para estabilizare caminos, con excelentes resultados.

A nivel ministerial podemos decir que la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas en la II Región, han estabilizado caminos, en San Pedro de Atacama y Chiu Chiu, en la III Región Paso San Francisco, en la IV Región Camino Los Choros, en la VII Región comuna de Botalcura, en la IX Región en Temuco y Curacautín, Acceso Volcán Villarrica, Camino Lican – Ray Calafquen, para la Municipalidad de Freire en la localidad de Quepe y en la región Metropolitana, Vialidad Urbana lo ha usado en la ruta 72, y en la V Región en la Cuesta la Dormida, y Quebrada EL Pobre en La Ligua, camino Las Dichas \_ Mirasol.

En el Ministerio de la Vivienda, la Dirección de Pavimentos Urbana del Serviu, lo ha utilizado en la estabilización de subrasantes, en las comunas de Melipilla y Quinta Normal, y de carpeta de rodado, en las comunas de Huechuraba, Alhué, Litueche.

Podemos citar además que la Municipalidad de Punta Arenas ha estabilizado con notable éxito, una calle de gran flujo vehicular, la que por mucho tiempo había constituido un problema para el transito local, constituyendo así a la sal como el primer y más austral estabilizador de suelo existente.

---

<sup>1</sup> Fuente: Sociedad Punta de Lobos S.A

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

#### **2.1.- Métodos de estabilización de suelos**

En la actualidad existen innumerables métodos de estabilización, los que se presentan en esta lista son formas de estabilización más conocidas, sin olvidar que hay muchas otras formas más específicas que aquí no se mencionan.

- Estabilización mecánica
- Estabilización por medio químico, generalmente logrado por la adición de agentes estabilizantes específicos como el cemento, las sales, la cal, el asfalto u otros
- Estabilización térmica, por medio de calor o calcinación
- Estabilización electroquímica.

De las anteriores se dará una pequeña descripción de los métodos más utilizados: Estabilización mecánica y Estabilización química.

##### **2.1.1.- Estabilización Mecánica**

La estabilización mecánica pretende mejorar las propiedades del suelo. Consiste en conferir compacidad a un suelo a través de la reducción de volúmenes de huecos y mejorar la trabazón mecánica por acciones de compactación, estática o dinámica

##### **2.1.2.- Estabilización química**

La estabilización por medio químico se logra por la adición de agentes específicos de naturaleza orgánica o inorgánica, en cuya derivación de estos agentes se obtienen estabilizadores tipo ácido, neutro o alcalino. Los químicos de tipo ácido y alcalino atacan químicamente a los componentes del suelo, especialmente a las arcillas, produciéndose en la reacción nuevos compuestos de naturaleza cementante.

Por otra parte los estabilizadores neutros alteran las propiedades físicas de los suelos como el peso volumétrico.

La estabilización química se basa en el incremento iónico en el ámbito de los minerales arcillosos del suelo, por acción de la sal aportada que modifica el agua absorbida por el suelo y sus propiedades geomecánicas.

### **2.1.3.- Algunos estabilizadores más comunes**

#### ➤ Cemento

Este proceso de estabilización se realiza produciendo la compactación de una mezcla de suelo, cemento y agua, con lo cual se logra un suelo que se comporta favorablemente a la deformación y cambio de humedad.

El cemento sirve para estabilizar todo tipo de suelos, excepto aquellos ricos en materia orgánica y suelos de alto contenido de sulfato.

La limitante para este tipo de estabilización es que, para que sea efectiva y económica en comparación a las otras, el suelo debe ser gravoso, arenoso o limoso arcilloso de plasticidad baja media. Si el límite plástico es mayor a treinta, es difícil lograr una mezcla homogénea.

#### ➤ Asfalto

La estabilización con asfalto consiste en adicionar un producto bituminoso que puede ser asfalto líquido, asfalto cortado o emulsiones asfálticas. Especialmente recomendado para suelos de baja plasticidad, donde se realiza la impermeabilización del suelo al recubrir sus partículas con una película de asfalto.

#### ➤ A base de enzimas

Proviene de un compuesto natural orgánico similar a las proteínas que actúan como un catalizador. Puede utilizarse en cualquier tipo de suelo, pero se aconseja que el contenido de material fino que pasa por la malla N° 200 debe estar comprendida entre un 18% a 30%. O bien lo que aconseje el Distribuidor.

➤ A base de aceite sulfonado

La estabilización con aceite sulfonado condiciona al suelo para alcanzar elevados índices de C.B.R y compactaciones superiores al 110% del Proctor, aumentando la capacidad portante y la resistencia al esfuerzo cortante y la resistencia al esfuerzo cortante. El aceite sulfonado actúa únicamente sobre la fracción fina de los suelos, vale decir, limos y arcillas, por lo que la dosis de aceite a aplicar estará en función del contenido y tipo de fino. Los suelos que han demostrado una mayor calidad de firme son los granulares, cuyo índice de plasticidad es inferior al 10 y el límite líquido menor que 40.

➤ La cal

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. Las partículas de arcilla, debido a su composición mineralógica, tienen exceso de aniones los cuales atraen los cationes del agua; haciendo que esta se adhiera a ellas, formando una agua pelicular.

➤ Capro (capa de protección)

Las CAPRO son recubrimientos para caminos granulares en base a emulsiones asfálticas, que tienen por objeto proteger la estructura de las deformaciones. Técnicamente, la solución se refiere a un tratamiento superficial simple con la diferencia que se adiciona gravilla o arena gruesa sobre un riego con emulsión. Tienen como objetivo proteger la estructura granular de la disgregación del material que la conforma. En algunos casos también se utiliza un doble tratamiento superficial.

➤ Cape Seal

EL Cape Seal, es una buena alternativa para recubrimientos de estructura granulares, básicamente porque corrige las debilidades de un tratamiento superficial doble, ya que utiliza un *slurry seal* sobre la grava de ¾" para sellarla, y por consiguiente, se consigue una mayor duración y grado de funcionalidad más alto, pavimentos más suaves y con menor intervención de conservación. Esta es una solución de un estándar superior.



➤ Imprimaciones reforzadas

Esta solución es la más antigua de recubrimiento de estructuras granulares, es una Imprimación convencional sobre una superficie de material granular, seguida de un riego de ligante y posterior aplicación de una capa de arena uniformemente distribuida. Los objetivos y beneficios son similares a las anteriores soluciones, diferenciándose en la estructura de la capa. (Imprimación, riego asfáltico y sellado de arena).

➤ Sellos (Sellos de agregados)

El ítem sellos se refiere a las soluciones tradicionales de tratamientos superficiales simples (TSS), también incluye los TSD con saneamiento sin mejoramiento geométrico, no obedeciendo a un proyecto acabado de ingeniería. Ambas tipos de tratamientos combinan la aplicación de emulsiones asfálticas con cobertura de agregado granulares.

➤ Las sales

Las sales producen en los firmes un aumento en la densidad seca, reducción del efecto de las heladas, reducción de polvo.

➤ Otros

### **Tipos de sales**

➤ Bischofita

Aplicabilidad a una gran variedad de suelos, incluso no plásticos con pocos finos; y buena calidad de rodado, similar a los caminos pavimentados. La bischofita es un compuesto químico natural (sales de magnesio) que facilita la captación y retención de agua en zonas semi – desérticas (propiedades higroscópicas), logrando un mejoramiento sustantivo de las capas de rodadura, eliminando las calaminas, el polvo y las deformaciones, reduciendo la conservación rutinaria a un mínimo.

➤ Cloruro de sodio (NaCl), Halita

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.

El Cloruro de Sodio (sal común) presenta grandes ventajas sobre los otros elementos estabilizadores por la gran cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación.

A continuación se detalla en un cuadro de resumen general las cantidades estimativas de obras proyectadas para el periodo 2003 – 2006, para cada región, y según tipo de solución básica. Lo anterior, de acuerdo a los listados regionales de los caminos preliminares propuestos, lo que además indican su posible año de ejecución de obras; debiendo considerarse que están sujetos a las condiciones técnicas de diseño, a los requerimientos sociales y a la disponibilidad de fondos de inversión.

**Tabla N° 2.a. Cantidad estimativa de obras proyectada para el periodo 2003 – 2006**

	I (Km)	II (Km)	III (Km)	IV (Km)	V (Km)	VI (Km)	VII (Km)	VIII (Km)	IX (Km)	X (Km)	XI (Km)	XII (Km)	RM (Km)	total (Km)
<b>BISCHOFITA</b> (cloruro de Magnesio)	189	695	722	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1.814</b>
<b>SAL</b> (Cloruro de Sodio)	342	206	71	211	0	4	394	0	452	0	00	97	0	<b>1.777</b>
<b>IMPRIMACION REFORZADA</b> (Imprimación, Riego Asfáltico y sellado de Arena)	0	0	0	9	0	17	0	0	0	0	0	0	0	<b>26</b>
<b>CAPRO</b> (Recubrimiento con emulsión asfáltica y gravilla)	0	0	0	0	585	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>585</b>
<b>CAPE SEAL</b> (Aplicación de Slurry Seal sobre la gravilla)	0	9	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>59</b>
<b>SELLO ASFALTICO</b> (Lechada Asfáltica)	0	0	0	0	415	6	0	0	0	0	0	27	20	<b>468</b>
<b>TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE</b> (TSS: Imprimación ,Riego Asfáltico y sello de gravilla)	0	0	0	0	0	401	54	185	90	0	0	0	176	<b>906</b>
<b>TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE</b> (TSS y obras de saneamiento) <b>TRATAMIENTOS SUPERFICIALES</b> (TSS o TSD con Estabilizadores de Suelo)	0	0	0	0	0	0	0	91	30	518	0	0	45	<b>684</b>
<b>RECEBO CON SAL</b> <b>RECEBO CON OTROS ESTABILIZADORES</b> ( Cloruro de Calcio)	0	0	0	0	0	0	0	424	0	0	66	187	0	<b>677</b>
<b>TOTAL</b>	<b>531</b>	<b>910</b>	<b>839</b>	<b>428</b>	<b>1000</b>	<b>428</b>	<b>448</b>	<b>700</b>	<b>572</b>	<b>518</b>	<b>66</b>	<b>311</b>	<b>245</b>	<b>6.0996</b>

**Fuente:** Programa de caminos básicos 5000 – Dirección de Vialidad - MOP

## **2.2.- Avances del programa.**

### **2.2.1.- Avance año 2003**

Durante el primer semestre de 2003 se dio un fuerte impulso al recién creado programa de Caminos Básicos 5000, de tal forma que las regiones que ya habían comenzado con anterioridad a ejecutar las soluciones básicas, continuaron haciendo lo propio con mayor ahínco, y el resto comenzó a aplicar las soluciones que mas se ajustaban a su realidad de tránsitos, suelos, climas y recursos. Con esto el año 2003 se cerro con 925 Km desglosados según se muestra en la Tabla N°2 :

**Tabla N° 2.b. Cantidad de obra con sal por región hasta el 2003.**

<b>Región</b>	<b>Km</b>
1	8,0
2	91,4
3	191,0
4	136,3
5	162,7
6	56,5
7	21,7
8	114,0
9	91,6
10	0,0
11	0,0
12	13,1
RM	39,2

**Total 2003: 925 Km**

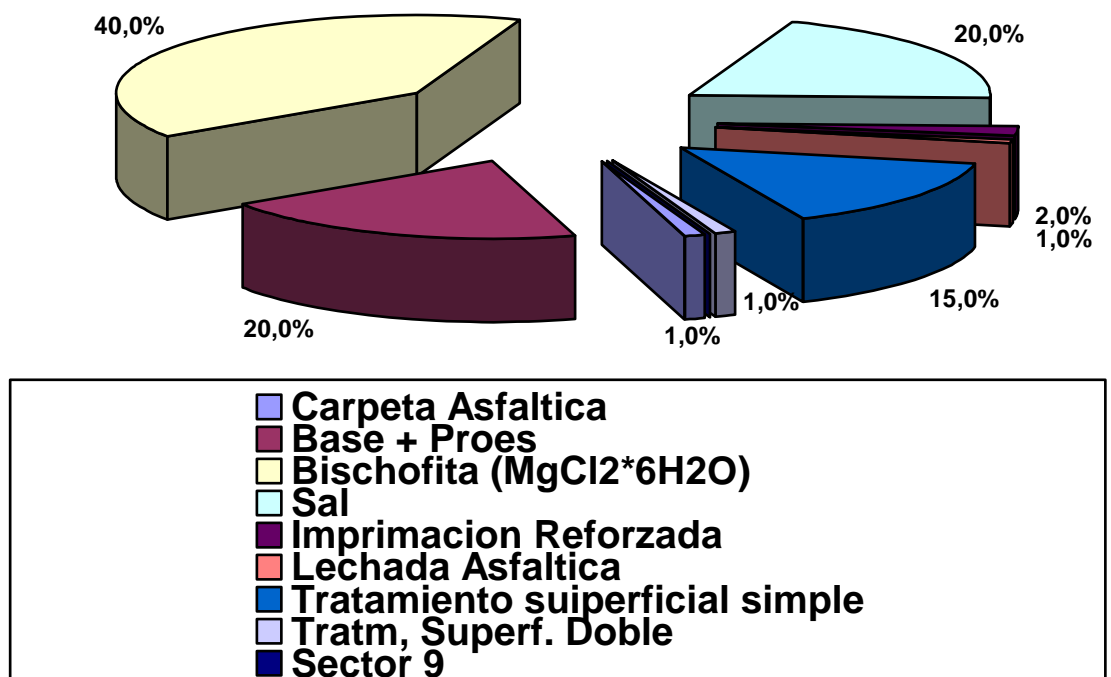
**Fuente :** Dirección de Vialidad- Subdirección de mantenimiento

Para llevar a cabo estas obras se invirtió MM\$15.926 sumando un total de 241 caminos abordados según las diferentes modalidades.

La distribución de las soluciones en este periodo fue la siguiente:

A partir del resultado obtenido en 2003, en que tal como se dijo antes, el programa se impulsa solo durante el primer semestre, y considerando que la meta es llegar a completar los 5.000 Km al termino del actual periodo presidencial, se dedujo que las cantidades a mejorar durante los dos años siguientes debía sumar al menos 4.000 Km.

**Gráfico N° 2.c. Distribución de las Soluciones en Caminos Básicos año 2003**



**Fuente:** Zamora (2004)

**2.2.2.- Situación año 2004**

Conocido los marcos presupuestarios del año, cada región confecciono su programa de caminos básicos a realizar por las diferentes modalidades al año anterior, en que a partir de este año se creo una nueva asignación específica para contratos de Caminos Básicos. Con el presupuesto inicial la suma de todos los proyectos programados alcanzaba la suma de 2.001 Km

para lo cual se invertiría MM\$ 28.780, de los cuales MM\$ 22.323 correspondería a inversión sectorial y el resto provenía de otros sectores ( FNDR. Municipios, Comunidades , Privado, etc.)

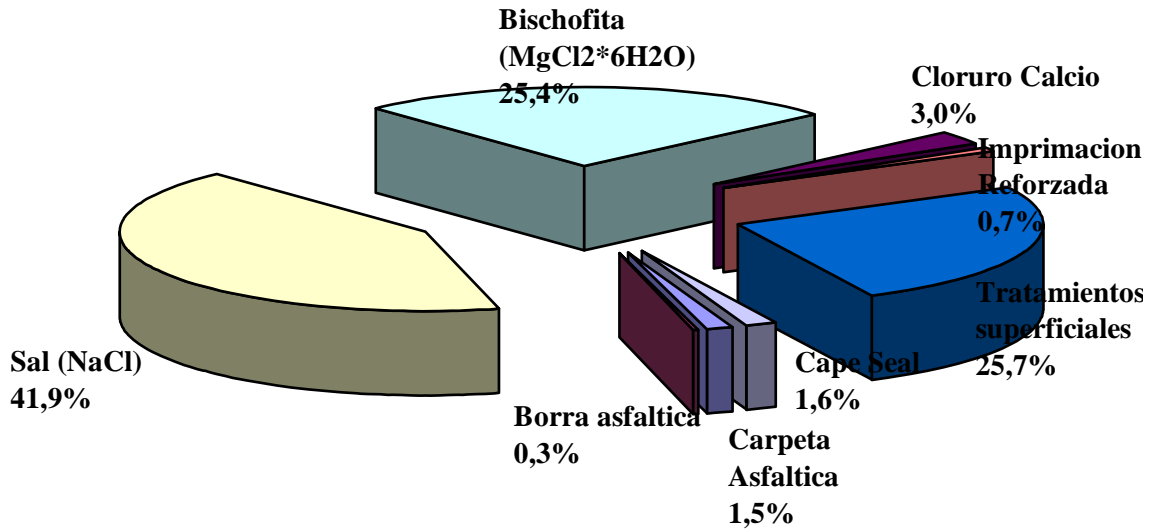
Durante el primer semestre se inyecta un suplemento de fondos adicionales al presupuesto original lo que sumado a los aportes extrasectoriales que se agregaron en el periodo arrojan las siguientes cifras de inversión y Km :









	<b>MM\$</b>	<b>Km</b>
<b>Inversión Sectorial</b>	<b>36.057</b>	<b>2.530</b>
Administración Directa	6.107	
Contratos globales	6.493	
Contratos conservación periódica	6.337	
Contrato Especif. C. Básicos	17.036	
Plan indígena	84	
<b>Inversión Extrasectorial</b>	<b>8.757</b>	<b>633</b>
FNDR	5.235	
Aporte Privado	1.468	
Aporte Público	2.054	

Con todo esto se totaliza 3.163 Km para una inversión total de MM\$ 44.815. Cabe señalar que el programa tiene un cierto dinamismo como consecuencia de las variaciones en los presupuestos disponibles y de los ajustes que se debe realizar producto de factores ajenos a la gestión propia como ejemplo atrasos en la adjudicación o en los trabajos realizados por los contratistas, por lo tanto es probable que la cifra de inversión presente modificaciones y por ende que la cantidad superará con creces los 2.000 Km programados a principios de año.

Las soluciones empleadas en 2004 mantienen la tendencia de ser intensivas en aplicación de cloruros (aprox. Un 70% en cantidad de Km). Este año se incorpora la aplicación de cloruro de calcio en la VIII Región. Esta situación se muestra en el siguiente grafico.

**Gráfico N° 2.e. Distribución de las Soluciones en Caminos Básicos año 2004**



 Carpeta Asfáltica	 Borra asfáltica
 Sal (NaCl)	 Bischofita (MgCl <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O)
 Cloruro Calcio	 Imprimacion Reforzada
 Tratamientos superficiales	 Cape Seal

Fuente: Zamora (2004)

Por otra parte, en la tabla N°2.d. se muestra las cifras de inversión y Km según las diferentes modalidades para cada una de las regiones, valores a fines del primer semestre, los que seguramente sufrirán modificaciones por motivo expuestos anteriormente.

**Tabla N° 2.d. Resumen de obra e inversión programada para el año 2004 (Junio2004)**

Km	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	RM	Total
Cantidad de Km	448	292	625	176	329	186	220	143	382	108	38	116	101	3.183
Inversión (MM\$)														
SECTORIAL	2.697	3.210	4.566	1.254	3.154	3.632	2.685	2.448	3.279	3.033	893	1.518	3.688	36.058
Adm. Directa	284	873	971	540	724	205	391	814	0	524	0	0	781	6.107
Contratos Globales	131	114	0	270	1.016	577	779	395	1.662	294	371	379	506	6.493
Contrato Red Básica	0	0	759	0	0	0	0	58	0	200	0	84	0	1.101
Contrato Red Comunal	154	930	637	0	563	512	483	311	0	92	0	0	1.555	5.236
Contrato Caminos Básicos	2.128	1.293	2.199	443	850	2.339	1.032	787	1.617	1.923	522	1.055	847	17.036
Plan Indígena	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	84
FNDR Trasferido	0	525	796	0	1.243	1.363	377	103	827	0	0	0	0	5.235
Aporte Privado	0	280	0	11	0	37	0	4	1.030	0	0	0	106	1.468
Aporte Publico	0	1.250	0	16	0	354	0	14	0	0	0	0	420	2.054
Total Inversión	2.697	5.265	5.362	1.281	4.397	5.387	3.062	2.569	5.136	3.033	893	1.518	4.215	44.815

**Fuente:** Dirección de Vialidad- Subdirección de mantenimiento.



## **2.3.- Estabilización de suelo con aditivo salino.**

### **2.3.1.- La sal**

La sal es un producto natural, que se obtiene de la molienda de la sal gema o sal de roca, proveniente del Salar Grande de Tarapacá en la Primera Región, sin observaciones especiales con relación al transporte, compuesto en un 98% por cloruro de sodio (NaCl) y un 2% de arcilla / limos.

Road Salt es comercializada por Super Sal Lobos S.A y se entrega a granel o en sacos de 50 kg., puesta en faena o en sus plantas de Iquique, San Antonio, Santiago, Talcahuano y Pto Montt, de acuerdo a las necesidades del cliente.

### **2.3.2.- Campo de aplicación**

#### **- Como se aplica esta tecnología**

La estabilización con sal, tiene múltiples aplicaciones y no solo en caminos donde pueden estabilizarse carpetas de rodado, bases, sub – bases, suelos naturales o subrasantes, sino también pistas de aterrizaje en aeródromos, playa de estacionamiento, en centros de consumo, supermercados, colegios, multicanchas, patio de recreación, estadios y otras áreas como bodegas a la intemperie y patios industriales, veredas entre otros. Es en resumen adaptable a otros usos en una gran variedad.

Sobre las superficies estabilizadas con sal se puede imprimir, ejecutar doble tratamiento, asfaltar u hormigonar sin otra limitación de las propias de los productos a utilizar.

En la estabilización con sal como cualquier otro procedimiento, la calidad del trabajo terminado dependerá de los materiales que se usen y de que el constructor se ciña a una buena técnica de construcción y a las recomendaciones generales entregadas por el proveedor.

La maquinaria y su correcto uso, unido a condiciones mínimas en cuanto a saneamiento, pendientes longitudinales y transversales que permitan el escurrimiento de las aguas lluvias, una

compactación mínima a un nivel de densidad de 95% y una homogeneización adecuada, permitirá tener una carpeta de rodado.

## **2.4.- Ventajas y desventajas que proporciona la sal.**

### **2.4.1.- Ventajas<sup>2</sup>**

1. El Cloruro de Sodio (sal común) presenta grandes ventajas sobre otros elementos estabilizadores, por la gran cantidad en que se encuentra a través de todo el mundo, su bajo costo y la facilidad de su aplicación.
2. Es un estabilizador natural.
3. Mejora la resistencia y cohesión de los suelos
4. Ocupa la maquinaria típica en caminos.
5. Requiere de un periodo de curado de 15 días a T° ambiente. (dependiendo del clima), recomendación que propone el Laboratorio de Vialidad para ver si aumenta la resistencia del suelo y verificar si se comporta mejor en el tiempo.
6. El tránsito no se interrumpe durante la ejecución de la obra ni durante el periodo de curado.
7. Ausencia de polvo, calamina, material suelto, y ahuellamiento del camino por lo tanto mejora la calidad de vida.
8. Bajo punto de congelamiento.
9. Tránsito más seguro, mejor visibilidad, superficie de rodado más suave.

---

<sup>2</sup> La información respecto de las ventajas y desventajas proviene principalmente de los antecedentes obtenidos por la empresa Sociedad Punta de Lobos S.A.

10. Caminos tratados con Sal demandan mantención mínima, su reparación es sencilla y económica.
11. Se puede aplicar productos asfálticos u otro tipo de pavimento sobre ella.
12. 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.
13. El cloruro de sodio proporciona un aumento en la densidad del camino, permitiendo mejorar su resistencia a la tracción y compresión.
14. Caminos tratados con Sal demuestran una reducción del material fino en suspensión (polvo) de un 99%.
15. La elaboración de caminos con NaCl no revisten riesgos a la salud de las personas.

#### **2.4.2.- Desventajas**

1. El uso de la sal produce problemas de corrosión en los vehículos.
2. En el momento en que la humedad ambiental sea alta, las superficies se tornan resbaladizas, sobre todo si presentan algún grado de plasticidad, aumentando el riesgo de accidente.
3. Una elección incorrecta de materiales y una mala homogeneización de los componentes de la mezcla, pueden conducirnos a un fracaso, es decir, capa de desgaste, calamina, con hoyos y dispareja.
4. Caminos tratados con Sal demandan vigilancia luego de terminado el proceso de estabilizado: 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 no frenen bruscamente ni que aceleren de forma que estos patinen, durante el periodo que dure el fragüe de la carpeta (10 a 15 días).

5. Se debe chequear periódicamente el sistema de drenaje adoptado, especialmente después de lluvias o precipitaciones intensas, en este tipo de solución se debe cuidar que el camino no sufra cortes debido al paso del agua que rompan la continuidad de éste.
6. Caminos tratados con Sal pueden causar efectos significativos sobre el medio ambiente: El Cloruro de Sodio en altas concentraciones registra impactos que hablan de daños a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial y agua potable. (Anexo 5)

## **2.5.- Descripción de los materiales componentes para una estabilización con sal.**

La estabilización con sal, es un medio económico de robustecer y proporcionar condiciones de estabilidad a las carpetas de camino. Esta adición controlada de sal, arcilla y material granular, mezclados correctamente y compactados, logra una mayor capacidad de soporte, durabilidad, lisura, que la que se logra con carpetas estabilizadas comunes sin tratamientos.

### **2.5.1.- Agregados**

La arena, grava, escoria o materiales chancados deben estar constituidos por partículas bien graduadas, libres de materia orgánica o de materiales extraños que impidan la acción mecánica o química de estabilización.

Una de las inquietudes más grandes es saber cuanto dura una estabilización con sal y básicamente se refiere a la lixiviación de los cloruros. Si bien la lixiviación de los cloruros esta relacionado con el clima, la graduación de las mezclas y la geometría de la carpeta tiene importancia ya que al emplear granulometrías abiertas los cloruros son lixiviados rápidamente hacia abajo, por las lluvias (por esto deben ser controladas las granulometrías). En granulometrías densas pero con mala geometría el movimiento de cloruros también es hacia abajo, pero cuando se utilizan perfiles tipo A con coronas adecuada, el agua escurre por la superficie hacia los lados y la parte que humedece la carpeta provoca un movimiento neto de cloruros ascendente, generado

por la evaporación lo forma concentraciones de sal en la superficie, pero estas son lixiviadas en las próximas lluvias, sin embargo es un proceso mas lento.

Con respecto al IP (Índice de Plasticidad) para bases se recomienda que la fracción que pasa bajo la malla N°40 sea menor que 6 y un limite liquido menor que el 35% y si es para una carpeta de rodado expuesta al uso, se recomienda que su valor este entre 4 y 9, con un limite líquido menor que 35%.<sup>3</sup>

### **2.5.2.- Sal para estabilizado**

Prácticamente toda sal comercial satisface los requisitos para estabilización y su método de empleo, esta dado de acuerdo a su origen:

#### a) Sal en colpa

Esta debe ser triturada por acción mecánica para que se logre una mezcla homogénea con el material granular y arcilla.

#### b) Sal (Subproducto industrial)

Esta debe ser controlada en su humedad de forma que no se produzcan problema en el mezclado, conocer su porcentaje de cloruro de sodio (NaCl) y los otros minerales que lo componen deben ser inertes en el proceso.

#### c) Salmuera

Para salmueras naturales, con un alto contenido de sal, se debe estudiar su porcentaje de disolución para así poder determinar las sales totales incorporadas a la mezcla, tanto sólida, disuelta y la propia del suelo.

---

<sup>3</sup> Manual de carretera, Capitulo 8.100- Suelos, Sección 8.101 Especificaciones para suelos.

### **2.5.3.- Arcillas**

Las arcillas provienen de la descomposición química que experimentan las rocas ígneas y metamórficas. El tamaño de sus partículas es inferior a las del limo y pertenecen a especies mineralógicas distintas a la de las de las rocas de las cuales proceden.

A partir de materiales muy distintos como son los variados silicatos que se encuentran en las rocas ígneas y sedimentarias, la erosión química llega a un producto final: la arcilla.

Resumiendo, la erosión física da lugar a los cantos rodados, piedras, gravas arenas y limos; mientras que la erosión química forma la arcilla, obteniéndose así la variedad de tipos de suelos con que debemos trabajar. Naturalmente habrá distintos tipos de arena dependiendo de las dimensiones, variedad y forma de granos; varios tipos de arcilla según la composición química.

#### **2.5.3.1.- Acción del Cloruro de Sodio en los minerales arcillosos**

Cada partícula de suelo posee cargas eléctricas en su superficie, atrayendo iones con el fin de neutralizar su carga eléctrica total. A su vez, estos iones atraen molécula de agua, siendo esta atraída directamente a la superficie de las partículas de suelo, de este modo siempre una partícula esta rodeada de agua.<sup>4</sup>

Entre las partículas de suelo actúan fuerzas de atracción y repulsión. Estas fuerzas tiene influencia en la ordenación de las partículas en el proceso de sedimentación. Factores tales como la temperatura y concentración de iones, del agua intersticial, influyen sobre las fuerzas de atracción y repulsión.

En suelos formados por partículas equidimensionales, las presiones se transmiten a través del suelo por las fuerzas de contacto mineral – mineral. En todos los suelos formados por laminillas de arcilla, orientadas cara a cara, las presiones se transmiten por fuerzas eléctricas de largo alcance.

Como se ha explicado y de acuerdo a la teoría coloidal, no cabe duda de que existe una modificación estructural de las partículas de suelo en presencia de un ambiente salino. Al agregar Cloruro de Sodio en cantidades adecuadas, se inducen importantes transformaciones estructurales ya que el ion sodio al hidratarse aumenta su volumen unas 7 veces, no podrá disponerse en una capa monoiónica y estos iones de intercambio junto con la película de agua que lo rodea se

---

<sup>4</sup> La fuente de información de la acción del Cloruro de Sodio en los minerales arcillosos, en el agua del suelo y su cristalización se encuentra en Brierley (1982)

separan de las superficies de los minerales hacia posiciones de equilibrio formando lo que se denomina doble capa. Una vez que el ion sodio pierde humedad, disminuye su volumen atrayendo entre si a las partículas finas ejerciendo una acción cementadora llamada floculación salina.

Al mezclar arcilla, sal y agua, la sal influye directamente en el espesor de la capa de agua absorbida, además de intercambiar iones en la superficie de las partículas de arcilla, las que se cargan negativamente repeliéndose unas con otras. Esto explica la suave textura que se aprecia en los suelos tratados con sal, lo que además ven disminuido el espesor del agua absorbida lo cual se traduce en una baja el IP.

### **2.5.3.2.- Reacción entre el cloruro de sodio y el agua del suelo.**

La atracción del agua por los iones es eminentemente electrostática. Las moléculas de agua son dipolos que al ser atraídos por el ion quedan orientados con el lado negativo hacia el ion. De acuerdo con la ley de Coulomb, los iones pequeños (caso del  $\text{Na}^+$ ) atraen un mayor número de moléculas de agua, mostrando una capa adsorbida mayor. Es así como el Cloruro de Sodio tiene la propiedad de atraer humedad y retenerla mejor que las partículas de suelo.

Esto tiene como consecuencia una disminución de la velocidad de evaporación. Cuando la presión parcial del vapor de agua que contiene el aire que esta en contacto con la sal es mayor que el de la salmuera, esta absorberá agua del aire que cubre la superficie del cristal de sal. La película de salmuera seguirá absorbiendo agua hasta que está disuelta al punto en que su presión de vapor iguale la del vapor de agua del aire. De este modo, humedad es absorbida en la masa de suelo. Por el contrario, el agua se evaporara de la solución cuando las presiones de vapor presenten la relación inversa.

Si cristales químicamente puros de sal entran en contacto con aire que tiene una humedad relativa superior al 75%, el agua será adsorbida a la superficie de los cristales. Si es menor, el cristal permanecerá seco o cualquier película de solución existente se evaporará. Este 75% de humedad relativa es la humedad critica de la sal.

El cloruro de sodio aumenta la tensión superficial del agua. Esto permite reducir la velocidad de evaporación al mismo tiempo que produce películas de salmuera que son mas resistentes que las de agua.

### **2.5.3.3.- Cristalización del Cloruro de Sodio**

Es sabido que el cloruro de sodio es bastante soluble en agua. Esto 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.

## **2.6- Uso de la sal como estabilizador químico aspectos ambientales y territoriales**

### **2.6.1- Contexto general**

El uso de sales, como estabilizadores químicos de las carpetas viales, es una práctica que cada día cobra más fuerza en nuestro país.

El Cloruro de Sodio (NaCl) o sal común, entre otros, es uno de los Cloruros más usados, el cual empezó a ser utilizado en las regiones del Norte, extendiéndose en la actualidad, su uso hacia el Sur del país.

### **2.6.2- Desde una perspectiva ambiental.**

Las regiones del Norte, presentan una reducida densidad poblacional y, con ello, puntuales asentamientos humanos, con lo cual, la aplicación de estos productos no ha revestido problemáticas para el hombre, sus animales y/o sus cultivos. Refuerza lo expresado, el hecho de que el medio árido y semiárido presenta:

- Carencia Total o parcial de precipitaciones
- Escasa expresión de escurrimientos exorreicos
- Carencia total y/o parcial de vegetación o cultivos aledaños al camino.
- Escasa o nula fauna nativa o introducida
- Condiciones de salinidad, que en algunos casos superan la utilizada sobre los caminos



Lo señalado, permite aseverar, que la aplicación realizada en medios áridos o semiáridos conlleva mínimos riesgos desde el punto de vista de la generación de impactos negativos. Esta situación, puede variar al avanzar, con su utilización, hacia la zona Central y Sur del País, en donde las condiciones señaladas se ven significativamente modificadas:

- Aumenta los niveles de precipitación
- Existe escorrentía exorreica, además de canales de riego
- Presencia de vegetación y fauna, no solo nativa, sino también introducida, además de la presencia de cultivos.
- Condiciones de salinidad de los suelos que, normalmente, podrán ser inferiores a las concentraciones aplicadas a las rutas.
- Mayor densidad poblacional

La situación presentada, requiere la consideración de procedimientos que permitan prevenir y/o mitigar, la ocurrencia de potenciales impactos negativos, asociados a la aplicación de la sal como estabilizador químico. Lo señalado, cobra importancia, en virtud de la promulgación de la norma chilena NCh 2505.

La cual versa sobre: Estabilización química de suelos – Caracterización del producto y metodología de evaluación de propiedades de desempeño del suelo.

### 2.6.3.-Norma técnicas nacionales

Las principales Normas Técnicas Nacionales aplicables a la Estabilización Química son las siguientes:

**Tabla N° 2.f. Normas Chilenas**

<b>NORMA CHILENA (NCh)</b>	
<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>
NCh 2190 of. 1993	<b>Sustancias peligrosas – Marca para información de riesgo</b>
NCh 2245 of. 2003	<b>Sustancias químicas – hoja de datos de seguridad – Requisitos</b>
NCh 2353 of. 1996	<b>Sustancias peligrosas – Transporte por carretera – hoja de datos de seguridad.</b>
NCh 382	<b>Productos químicos- Sustancias peligrosas - Terminología</b>
NCh 2505 of. 2001	<b>Estabilización química de suelos – Caracterización del producto y metodología de evaluación de propiedades de desempeño del suelo.</b>

**Fuente:** Elab. propia

Se describirá en detalle la Norma Chilena NCh 2505.

### **2.6.4.- Nch 2505**

**Estabilización química de suelos – Caracterización del producto y metodología de evaluación de propiedades de desempeño del suelo.**

Debido a que gran parte de los aditivos químicos que se comercializan en el mundo corresponden a subproductos de variados procesos industriales, de diversa composición química

y a veces de formulas secreta o desconocida, es que se diseño la primera normativa chilena para estabilizadores de suelo.

#### **2.6.4.1.- Alcance y campo de aplicación**

- Esta norma establece un procedimiento para verificar que el producto estabilizador químico cumple con las características indicadas en la documentación técnica entregada por el fabricante o distribuidor.

- Esta norma establece los ensayos y normas que se deben utilizar en la evaluación de algunas propiedades de desempeño del suelo, estando éste en su condición natural y luego una vez tratando con el estabilizador químico.

- Esta norma no considera la aplicación de los productos cemento y asfalto, excepto cuando éstos se incorporan como complemento al estabilizador químico en porcentajes inferiores a los normalmente utilizados en estabilizaciones suelo – cemento y suelo – asfalto. En el caso de los estabilizadores químicos cal y ceniza volante, mientras no exista norma Chilena al respecto, se aplicaran las normas ASTM C 977 y D 5239, respectivamente.

- Esta norma no se aplica a riegos superficiales que no consideren una mezcla íntima y homogénea con el suelo a tratar. No obstante lo anterior, igualmente deberán cumplir con lo indicado para la salud y medio ambiente.

#### **2.6.4.2.- Aspectos mas relevantes normados por la ley.**

- Respecto a salud y medio ambiente, señala que “los estabilizadores químicos deben cumplir con toda la legislación vigente que pueda tener relación con toda y cada una de las etapas del ciclo de vida de estos productos.” (4.2). \*

- “La información errónea o incompleta relativa a salud y medio ambiente, se considera como un no cumplimiento de esta norma y además, de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuir del producto. No obstante lo anterior, esta situación no exime de responsabilidad al

---

\* Nch 2505. Of 2001

administrador de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de éste y las condiciones en que se debe utilizar”.(5).\*

- “Todo producto que vaya a ser utilizado como estabilizador químico y en consideración a los potenciales riesgos para la salud de las personas y los efectos negativos para el medio ambiente debe ir acompañado por un folleto informativo, emitido por el fabricante y/o distribuidor”. (5.1).\*

- Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico se debe acompañar de una hoja de datos de seguridad de productos químicos (HDS), de acuerdo a lo indicado en NCh2245. Análogamente y debido a los riesgos inherentes en el transporte de estos productos, se debe acompañar una hoja de datos de seguridad para transporte (HDST), de acuerdo a lo indicado en NCh2353.” (5.2).\*

Por acuerdo entre las partes, los estabilizadores químicos podrán ir acompañados de un certificado emitido por un laboratorio reconocido, en el cual se deja expresa constancia que dicho producto cumple con las características indicadas por el fabricante y/o distribuidor en la documentación entregada, en forma y contenido indicada en esta norma.” (10).\*

#### **2.6.4.3.- Estudio de Super Sal Lobos, la Universidad Técnica Federico Santa María y la Dirección de Vialidad V Región. <sup>5</sup>**

Respecto a problemas ambientales Super Sal Lobos, la Universidad Técnica Federico Santa María y la Dirección Regional de Vialidad V Región acordaron realizar una Auditoria Ambiental en la Ruta F10G entre los km 11500 y 19000 estabilizados con Road Salt.

Su objetivo principal es el dimensionar el impacto y su radio de influencia que el estabilizado con Road Salt pudiera haber producido en esta ruta, más conocida como Cuesta La Dormida, que une las localidades de Til – Til y Olmue.

Para este se consideraron tres puntos a lo largo del camino; el primero fuera del área estabilizada (A), el segundo en un punto donde se triplico la dosis de Roalt Salt (B) y la tercera (C) donde se triplicó la dosis exacta de estabilizante, como podrá apreciarse los resultados que a continuación se presentan son favorables en lo relativo a la reducción de polvo en suspensión y contaminación de napa subterránea, no alcanzando el límite requerido por la Norma Chilena.

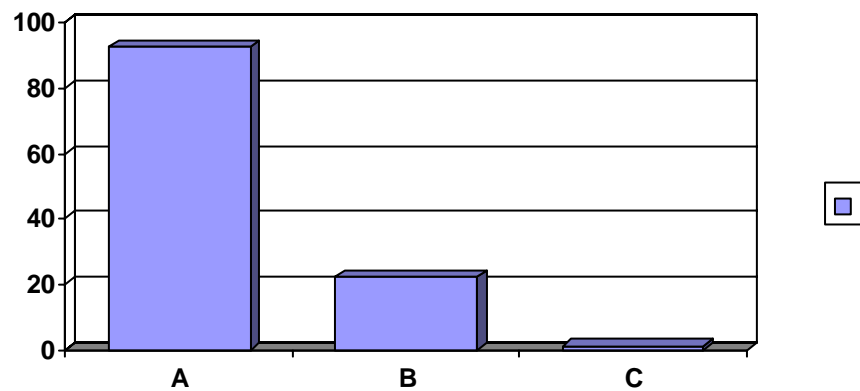
---

<sup>5</sup> Faune, Luis. Constructor Civil U.C, Jefe División Vial Super Sal Lobos. Revista Obras Publicas, 2001

Medición de Material Particulado

Punto Muestreo	Trafico Total	Factor Gravímetro	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Factor Ponderación	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
A	69	0.463	92.580	1.000	92.580
B	69	0.110	22.20	1.000	22.200
C	114	0.0075	1.506	0.605	0.911

**Gráfico N° 2.f . Resultado de medición de material particulado total en suspensión (PTS).**



**Fuente:** Faune F. Luis; Revista Obras Publicas 2001

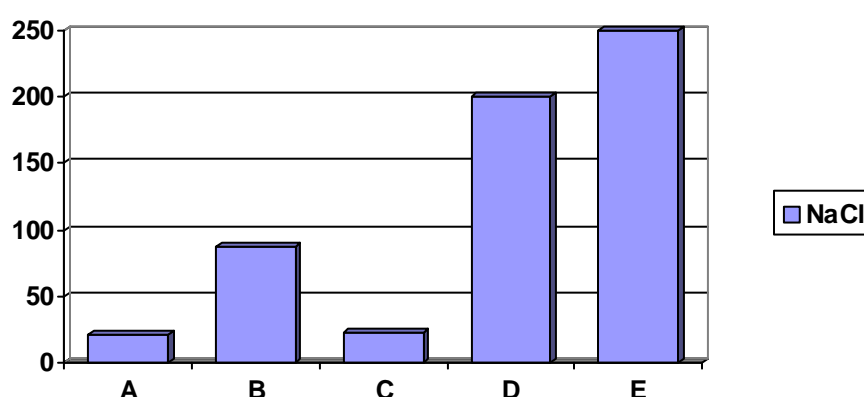
Punto de Muestreo	% de PTS	% Reducción de PTS
A	100.00	0.00
B	23.98	-76.02
C	0.98	-99.02

Medición de contaminación de napa subterránea

Los puntos A - B -C corresponde a la misma situación anterior se ha agregado los puntos D y E que corresponden a la norma chilena para aguas de riego y agua potable respectivamente.

Muestra	NaCl (mg/lit)	Sodio (mg/lit)	Sodio %	Nitratos (mg/lit)
A	21.04	14.42	0.00144	5.74
B	87.09	36.55	0.00366	18.42
C	22.01	12.73	0.00127	10.72
D	200.00			
E	250.00			

**Gráfico N° 2.g .Medición de contaminación de napa subterránea.**



**Fuente:** Faune F. Luis; Revista Obras Publicas 2001.

Como se puede apreciar en los gráficos la reducción del polvo es del orden del 99% e incluso donde se triplicó Road Salt la disminución es del 76%.

Con respecto a la contaminación de napas subterráneas en el punto C no alcanza a 1 mg/lit y con el caso B que tiene el triple de Road Salt especificado está lejos de lo admitido en la en la norma chilena.

#### **2.6.4.4.- Efectos de la salinidad sobre el suelo y las plantas**

El efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y variable. Existe una clasificación generalizada que agrupa las plantas en halófitas y no halófitas.

Las primeras se refieren a aquellas plantas que poseen mecanismos de resistencia a las salinidad, aunque su grado de tolerancia es muy variable. La mayor parte de las plantas cultivadas, se consideran como no halófitas, siendo las mas tolerantes la mayoría de los cereales.

Los efectos de la salinidad se agrupan bajo tres aspectos diferentes: (Martínez Raya, 1996)\*\*

- a) Relaciones hídricas
- b) Balance de energía y
- c) Nutrición

#### **a) Relaciones Hídricas**

La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo. Si tenemos en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos concentradas a las más concentradas, con objeto de diluir éstas últimas e igualar las presiones osmóticas de ambas, se comprende que cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de estas últimas hacia la solución del suelo.

#### **b) Balance Energético**

En algunas ocasiones las plantas no sufren estrés hídrico sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, Berntein\*\* (1961) desarrolla la teoría del ajuste osmótico, la cual propone que las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a costa de un menor crecimiento.

La disminución del crecimiento se atribuye a que las sales que afectan a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible. Aceves\*\* (1979)

#### **c) Nutrición**

En el aspecto nutricional, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Tal sucede con los cloruros y nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio.

---

\*\* Citados por: Inés García y Carlos Dorronsoro.2003. en "Contaminación de los suelos" Tema 12 La información esta Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/manejo.htm>

La presencia en exceso de ciertos iones, como cloruros, el sodio y el boro, pueden provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, tallos, hojas, otros

#### **2.6.4.5.- Medición de la salinidad**

La salinidad se caracteriza de la siguientes formas:

- Contenido de sales solubles (Conductividad eléctrica (CEs))
- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)
- Relación de absorción de sodio (RAS)
- Contenidos de elementos tóxicos (boro, cloruros, sodio, etc.)

#### **2.6.4.6.- Efectos de la salinidad sobre los vehículos**

Como es sabido el Cloruro de Sodio en medio acuoso es un agente corrosivo del metal bastante fuerte.

Encuestas realizadas a personas dueñas de vehículos en la zona donde se han realizado las experiencias después de un año de usar dicho camino, aunque teniendo un cierto temor al camino con sal, no habían notado diferencia en las latas de sus vehículos. Esto puede deberse que cuando llueve, la sal que se disocia en el agua de la lluvia no es muy grande, puesto que está retenida en el terreno y, la parte que emigra se escurre a los costados del camino y al terreno de fundación.

Ahora si los vehículos transitan constantemente por ese camino se podrá ver un impacto negativo en la infraestructura de los vehículos. Tal es el caso de incidencia del NaCl en los buses de transporte del personal de Andina, cuyo tramo estabilizado con Cloruro de Sodio es de 25 km. Fotografía N°1.

Este problema no fue tratado en la presente memoria, ya que se considero fuera de los objetivos de ella, pero en todo caso constituye un punto que debiera ser investigado.





Tubos para zanja que sostiene asientos



Mampostería carrocería, sector Nañera



Sal solidificada-sector eje trasero

## **2.7.- Secuencia tipo de trabajo para un camino estabilizado con sal.**

### a) Zanjado

Para proveer un drenaje adecuado se procederá a la construcción de zanjas que den flujo libre al agua de la sub base, dejándola escurrir de debajo de la superficie del camino por ambos lados y bajo del camino mismo. En lo que respecta a la sección del camino, es preferible un perfil tipo "A" con una pendiente de aproximadamente 2% para la zona Sur.

### b) Escarificado

La reconstrucción de caminos existentes requiere un escarificado a una profundidad tal que permita a la hoja (motoniveladora) o revolovedor rotatorio trabajar completamente el material. Si se requiere material extra, será suministrado para obtener con el agregado total el espesor, granulometría y plasticidad especificada.

### c) Aplicación de la sal

Esta debe efectuarse en forma uniforme en el ancho total del camino, la proporción exacta debe ser proporcionarse por el proyecto. La sal conviene agregarla tan pronto sea posible para aprovechar todas las revolturas del material, ya sea después del escarificado, sobre el cordón o directamente en las plantas de agregado según sea el caso.

Si la sal se agrega en solución, deben mantenerse las mismas cantidades de sal seca ( sal seca es sal con humedad ambiente, lo que implica un contenido de humedad del orden de 1% a 3%).

d) Incorporación de la sal.

El agua debe ser agregada en el mezclado para obtener una adecuada mezcla y posterior compactación.

e) Mezcla.

Los materiales pueden ser mezclados “in situ” con una mezcladora rotatoria o con motoniveladora. La otra alternativa la constituye las plantas mezcladoras rotativas son muy eficaces para romper los terrones de arcilla, mezclando el fino con el egragado grueso. El mezclado con hoja (motoniveladora es, en general, más lento que el obtenido con las mezcladoras rotatorias, pero con un mínimo de 3 o 4 pasadas puede lograrse una adecuada mezcla. El amasado es otro buen método de mezclado. Para una buena revoltura es necesario que el material ruede sobre la hoja de la motoniveladora (si se usa este método), de modo de hacer más íntima la mezcla de los elementos (sal, agua, arcilla y materiales gruesos). El amasado consiste en apretar un material contra otro con la hoja de la motoniveladora a fin de moler los terrones de arcilla y mezclar homogéneamente los materiales constituyentes. Durante el mezclado deberá agregarse agua para mantener la humedad óptima.

f) Nivelado.

Después que el material ha sido completamente mezclado, este deberá ser acordonado en la berma. El material se extenderá sobre la base humedecida, alternado desde una berma a la otra para obtener un espesor mínimo, después de compactado, son necesarios humedecimientos y rodillado después de extender cada capa hasta que todo el material acordonado es colocado.

Continuas perfiladuras y rodillados son necesario hasta que todo el agregado sea compactado hasta obtener en la superficie una apariencia de estar seco.

g) Compactado.

Mediante rodillo para obtener las densidades requeridas, desde los costados hacia adentro y hasta que todo el exceso de humedad desaparezca y la superficie tome una apariencia de vidriado. Para lograr la compactación es más efectivo un rodillo vibrador y con el fin de obtener una superficie mejor terminada se recomienda el empleo de rodillo neumático, en las últimas pasadas. El rodillo no debe ser pasado por el eje, sino siempre a ambos lados de él, para dejar claramente marcado el perfil transversal con el respectivo bombeo, de lo contrario se pueden producir deterioros por la acumulación de agua en el centro de la calzada.

**2.8.- Pasos constructivos recomendados para el caso de estabilizar el suelo existente.**<sup>6</sup>

1. Humedecer la superficie del suelo existente, si es necesario.
2. Escarificar en la profundidad indicada, acordonando el material.
3. Humedecer y compactar la sub rasante al 95% DMCS.
4. Extender el material acordonado.
5. Agregar el 50% de la humedad óptima
6. Agregar la sal a la razón especificada
7. Homogeneización del suelo con la sal mediante sucesivas pasadas de motoniveladora
8. Agregar agua si es necesario para alcanzar humedad óptima
9. Extender y compactar a la densidad requerida
10. Al momento de perfilar, no olvidar de dar las pendientes longitudinales y transversales adecuadas, que permitan un libre escurrimientos de las aguas lluvias
11. La compactación deberá efectuarse, con un rodillo neumático, procediéndose desde el borde hacia el centro, evitando pasar el rodillo en el eje.
12. La primera pasada de rodillo deberá efectuarse sin vibrar, y deberá procederse al recebo del material, en los puntos bajos de tal forma que la superficie quede lo más lisa y homogénea posible.
13. Una vez terminada la compactación si fuere necesario se procederá a dar un riego superficial, con la finalidad de mantener la humedad de la superficie constante.
14. Si se dispone de rodillo neumático terminar la compactación con él.
15. El proceso de fragüe es de 10 a 15 días dependiendo del clima.

---

<sup>6</sup> Referencia Sociedad Punta de Lobos S.A.

16. Esto no es impedimento para que el camino pueda ser transitado, lo que debe efectuarse tomando algunas precauciones (no frenar bruscamente, ni acelerar los vehículos de forma que estos patinen)
17. Si el clima es muy seco deberá rociarse la superficie con agua los primeros días hasta que complete el fragüe.

### **2.9.- Requerimiento de equipos para una buena colocación del aditivo.**

La maquinaria a usar, es la comúnmente empleada en las faenas viales, es decir, camiones tolvas y aljibes, motoniveladoras, rodillos lisos y neumáticos. Los cuales deben estar en óptimas condiciones mecánicas, además de estar dimensionados para los trabajos a realizar, para obtener rendimiento y calidad satisfactoria como resultado.

Para la correcta ejecución de los trabajos, el control periódico de los equipos claves evitara futuros problemas de terminación, calidad de los trabajos y cumplimiento de los plazos. Por lo que es necesario que todo equipo debe estar en condiciones para su uso, cuándo se requiera.

#### a) Equipo compactador

Para el buen sellado de la superficie y compactación es altamente recomendable el empleo de rodillo neumático, con la salvedad que no debe ser pasado por el eje, sino siempre a ambos lados de él, para dejar claramente marcado el perfil transversal con el respectivo bombeo, de lo contrario se producen deterioros por la acumulación de agua en el centro de la calzada( la otra opción es dejar una pendiente transversal única)

#### b) Aljibe

Este equipo puede ser de remolque o autopropulsado, debiendo ser su capacidad acorde a los trabajos y volúmenes del proyecto. Se debe tener precaución en que estos equipos no tengan pérdida de agua y los surtidores entreguen de una forma pareja y controladas el agua ya sea en

forma gravitacional o forzada. Los trabajos asignados se centran en riego del cordón para amasado para lograr la humedad de compactación y riegos de sello de la superficie.

c) Motoniveladora

Este equipo tendrá un uso múltiple en operaciones de construcción como escarificado, acordonar, revolver ( si es necesario) extender el material y reperfil. Por tal motivo es la maquinaria en la que se debe poner un mayor énfasis en su elección.

Esta debe ser autopropulsada, con tornamesa ajustable y pala angulable además para algunos tipos de trabajo de mantención o reparación de caminos este equipo debe estar provisto de escarificadores en lo posible provista de sensor de pendiente longitudinal y transversal con control hidráulico sobre la hoja o pala. La hoja o pala debe estar derecha y en buenas condiciones sin juego.

d) Equipo propuesto para la incorporación de sal en forma de salmuera

El Laboratorio Nacional de Vialidad propone contar con un equipo para la disolución mecánica de la sal. El equipo propuesto consiste en un estanque con fondo piramidal o cónico, en cuyo orificio inferior se hace recircular agua extraída del centro del estanque para producir una alta agitación. De esta forma se logra una mayor disolución y por ende se aplica una salmuera más concentrada (ventajoso cuando el cordón ya tiene humedad y la cantidad de salmuera máxima a aplicar es limitada). Con esto es posible colocar menor cantidad de sal. La ventaja adicional es que al aplicar menos sal, se disminuye los eventuales riesgos de escurrimiento de sales que pueden afectar el ambiente.

## **2.10.- Mantención de caminos estabilizados con sal.**

Como en todo camino la mantención es prioritaria para mantenerlo en óptimas condiciones de transitabilidad, una conservación periódica de él evitara que las deformaciones adquieran relevancia y gastos innecesarios a corto y largo plazo, más aun si consideramos que las reparaciones son sencillas y de fácil aplicación.

El mantenimiento del camino estabilizado dependerá del uso y condiciones climáticas al que se vera expuesto, la frecuencia vehicular, además del tipo de vehículo que circule por él, provocacando a través del tiempo un deterioro de la carpeta, generándose bombeo deficiente, formación de baches, calamina, etc.

Existen tres tipos de reparaciones, que dependerán del uso del camino:

- a) Tipo bacheo, en la cual bastará con cuadrar la deformación, en todo el espesor comprometido, agregando material nuevo de borde del camino mezclado con sal, procediéndose a su compactación o dejando que los mismos vehículos terminen de compactar si no se dispone de algunos elementos para hacerlo.
- b) Reparación mayor, se procederá con este tipo de reparación cuando la superficie de rodado presente deformaciones importantes, la que se ejecutara, perfilando con motoniveladora, previo a mejorar en abundancia o después de una lluvia intensa, si es necesario, se puede pasar rodillo, siendo lo ideal uno neumático.
- c) Si el camino ha perdido sus características, es posible rehacerlo completamente, procediendo a escarificar, homogeneizar, y agregar sal en las proporciones adecuadas si se ha agregado material nuevo.

El buen uso de estos equipos unidos a condiciones mínimas en cuanto a saneamiento, pendientes longitudinales y transversales que permitan el escurrimiento de las aguas lluvias, a una compactación mínima de un 95% DMCS y una homogeneización adecuada, permitirá tener una carpeta de rodado de primera calidad.

## **2.11.- Ejemplo especificaciones técnicas para una estabilización con sal (m<sup>3</sup>).**

### **2.11.1.- Descripción y alcances**

La presente partida comprende la incorporación de sal en todo su volumen a la carpeta de rodado que se construye. Los trabajos se ejecutaran en los lugares indicados en los documentos del proyecto o donde lo ordene la Inspección de la Obra.

La sal mezclada deberá cumplir con la siguiente exigencia:

Malla (N°)	% que pasa
4	100
8	100 - 95
16	95 - 85
30	70 - 50
40	37 - 20
100	20 - 10
200	5 - 1

### **2.11.2.- Procedimiento de trabajo**

Una vez recibida conforme el ítem 5.209 Preparación de la Subrasante<sup>7</sup>, se procederá a incorporar el estabilizador en base a sal, conjuntamente con la ejecución del ítem 5.303 Carpeta de Rodado Granular<sup>5</sup>, según la dosificación entregada por el proveedor o sacadas según la tabla de recomendaciones de Vialidad. Ambos materiales deberán ser mezclados “in situ” hasta que se logre una mezcla homogénea, mediante la utilización de una motoniveladora.

Deberá retirarse los posibles terrones o aglomeraciones de material que pudieran presentarse antes o después de mezclar.

Una vez lograda la homogenización de los materiales, se procederá a su extendido en el espesor señalado por los documentos del proyecto, y posteriormente se compactará hasta el 95% de la D.M.C.S según ensayos de LNV 95. para el cumplimiento de lo anterior, en forma previa a los trabajos se deberá realizar él o los ensayos de materiales a objeto de determinar la humedad óptima. El proceso de compactación hasta lograr la D.M.C.S., deberá realizarse antes de las 20 hrs., lo anterior producto de que la reacción química que produce entre el árido y la sal produce cambios en su densidad combinada. Durante la ejecución de las obras se tendrá especial cuidado de no interrumpir el tránsito vehicular, realizando la construcción por mitad de calzada o habilitando desvíos provisorios, de acuerdo a las condiciones locales. Al respecto, el Contratista proveerá toda la señalización pertinente (diurna y nocturna) para la seguridad del usuario y personal de faena.

---

<sup>7</sup> Manual de carretera, Volumen 5: “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción”.

### **2.11.3.- Medición y pago**

La unidad de medida y pago será el metro cúbico(m<sup>3</sup>) de estabilización con sal, medidos según los perfiles geométricos establecidos en los documentos del proyecto u ordenados por la Inspección de la Obra. No habrá medición y pago por sobre excavaciones no autorizadas, incluso sus rellenos. El precio unitario incluye la provisión, transporte, mezclado, compactación, etc., y todo lo necesario para cumplir con la presente especificación y demás documentos del proyecto.



## CAPITULO III

### ANTECEDENTES DE LA DECIMA REGION

#### 3.- Antecedentes de carpetas granulares tratadas con sal en la Región de los Lagos por la Dirección de Vialidad

##### **3.1.- Generalidades**

La estabilización no pretende reemplazar al pavimento del hormigón o asfalto, en aquellas situaciones en donde las características del tráfico por su intensidad así lo requieren; es mas bien una alternativa para caminos secundarios con un tránsito moderado.

##### **3.1.1.- Experiencia en terreno**

El camino estabilizado con sal se encuentra en Huanehue – Paso Carririñe en el sector de Coñaripe, comuna de Panguipulli. El camino está emplazado en zona de valle sobre sustrato volcánico. La carpeta de rodado era existente y corresponde a material pétreo integral de origen volcánico con 14% bajo malla 200.

El tránsito por el sector es de tipo estacionario, preferentemente turístico concentrado entre meses de Diciembre y Febrero. La longitud a intervenir fue de 5.0 km.. El trabajo se realizó sin interrupción del tránsito.

Otra intervención se hizo en Huichahue en el sector de Reúmen, comuna de Paillaco. El camino está emplazado en zona urbana de Reúmen sobre sustrato fino limoso. La carpeta de rodado existente corresponde a material pétreo integral de origen fluvial con 9% bajo malla 200. El tipo de tránsito es mixto. La longitud intervenida fueron de 1000 m.

### **3.2.- Comportamiento de los caminos intervenidos a la fecha** **camino Huanehue – Paso Carririñe.**

#### **- Paso Carririñe**

Durante los primeros 30 días tuvo un comportamiento óptimo, luego de las lluvias del mes de febrero se originaron baches que obligaron a ejecutar reperfilado simple en algunos sectores, quedando estos con algo de desagregación del material intervenido manteniendo buenas condiciones de transitabilidad sin generación de polvo.

A los 40 días después del reperfilado, al inicio de las lluvias intensas y persistentes del mes de otoño, la calzada intervenida a lo largo de toda su longitud, presenta baches y al secarse ya se presenta algo de polvo.

**ESTADO INICIAL DEL CAMINO**



**COLOCACIÓN DE LA SAL**



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°2**

## HOMOGENIZACIÓN



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°3**

## CAMINO TERMINADO



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°4**

## SITUACIÓN ACTUAL



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°5**

## **CAMINO REUMEN - HUICHAHUE**

Durante el periodo sin lluvias el camino se comporto en forma optima, no se le ha hecho mantencion<sup>8</sup>. Por problemas de saneamiento urbano actualmente (Abril - Mayo) se presentan baches y sectores inundados.

### **COLOCACION DE LA SAL**

Se desparramara de una forma tal, de que asegure una aplicación uniforme de la sal. Normalmente la aplicación se efectúa a mano esparciendo la sal desde el camión sobre el suelo acordonado a lo largo del camino. En esta forma, conocido el peso de la sal transportado por el camión y el porcentaje en peso a agregar, es posible determinar la longitud del cordón dentro del cual es necesario esparcir la camionada.

### **INCORPORACION Y HOMOGENIZACION DE MATERIAL**



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia.

**Fotografía N°6**

---

<sup>8</sup> información obtenida hasta Mayo del 2004

## HOMOGENIZACION DE LA SAL



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°7**

## SITUACION ACTUAL



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°8**

Muestra una zona del camino que se inundo debido a las lluvias

## **BACHES AL CENTRO**



**Fuente:** Dirección de Vialidad-Valdivia

**Fotografía N°9**

### **3.3.- Algunas conclusiones preliminares**

No es recomendable intervenir carpetas de rodado conformadas con material integral.

En sectores de camino sin pendiente longitudinal que ayude a la evacuación de aguas se debe hacer un mayor bombeo de la calzada.

Las obras de saneamiento deben garantizar que las aguas se alejen rápidamente de la calzada intervenida.

Se debiera experimentar en la región con la intervención de calzada con carpetas granulares dosificadas tamaño máx. 2” para contar con más antecedentes de evaluación

## **CAPITULO IV**

### **ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES**

#### **4.- Ensayo de laboratorio**

Después de haber realizado estas dos obras con incorporación de sal a carpetas existentes, con granulometrías no controladas y con material de sobretamaño. La Dirección de Vialidad quiso obtener más antecedentes con granulometría controlada; por esto se experimentó en la región con la intervención de carpetas granulares dosificando tamaño máx. 2”.

En el presente capítulo se dará a conocer los resultados de los ensayos realizados en laboratorio, tales como: Granulometría, Límites de Atterberg, CBR y Compresión no Confinada en estado natural y con distintas formas de adicionar la sal, mostrando los cambios o variaciones que se producen en estos parámetros con respecto al suelo patrón

#### **4.1.- Generalidades**

Toda clasificación de suelo debe incluir un análisis granulométrico y en el caso de suelos finos también debe contemplarse la determinación de los límites de consistencia o Atterberg. La granulometría predice el comportamiento estructural del suelo ante ciertas sollicitaciones y es sabido que las propiedades de consistencia y dureza varían de acuerdo con el contenido de humedad. Tales determinaciones permiten clasificar los suelos de grano fino según el sistema U.S.C.S. (Unified Soil Classification System) por medio de la carta de plasticidad de Casagrande.

Para determinar los límites de Atterberg se utilizan 2 normas: El límite líquido mediante la norma LNV 89 o Nch 1517/I y el límite plástico se determina según lo indicado en la norma LNV 90 o Nch 1517/II.

Experiencias de laboratorio se realizan con materiales del tipo GP – GM ; a los cuales se les mide sus parámetros normales, de granulometría, Proctor, CBR, compresión no confinada, Límites de Atterberg en estado natural y con una misma dosificación pero destinadas formas de aplicación.



#### **4.2.- Estabilizador Patrón**

El suelo patrón utilizado en esta investigación corresponde a suelo natural, sin aditivo extraído por Vialidad de uno de sus pozos ubicado en La Unión comuna de Rió Bueno, pozo San Javier, km 0.470, su clasificación por el método AASHTO es A – 1 a y por el Unificado es GP – GM.

Su función es permitir comparar las características físicas y mecánicas que puede proporcionar con respecto al producto químico que se le adicionará al suelo patrón, con el fin de que no se produzca en el camino exceso de polvo, calamina, exceso de material grueso suelto, ahuellamiento, pérdida del material, tramos resbaladizos. Todos estos factores mencionados empeoran el índice de servicio y aumenta el riesgo de accidente.

#### **4.2.1.- Clasificación del suelo según el sistema A.A.S.T.H.O Y U.S.C.S**

**Tabla N° 4.a. Clasificación del suelo patrón**

SUELO	Clasificación A.A.S.H.T.O			Clasificación U.S.C.S		
	Grupo	General	Tipo de suelo	Simbolo	Tipo de Suelo	Descripción
Patrón	A – 1a	Granular	Grava y Arena	GP-GM	Grava Limosa	Grava mal graduada con limos de baja compresibilidad

**Fuente:** Elab. propia

### **4.3.- Producto estabilizante**

La identificación del producto y su proveedor

Nombre del Fabricante y Distribuidor	Sociedad Punta De Lobos S.A.
Nombre del producto:	Road Salt
Código del producto	DR 999 V00 granel DR 999 V02 saco de 50 Kg DR 999 V83 maxi sacos

#### **4.3.1.- Propiedades de desempeño del producto estabilizante.**

**Tabla N° 4.b. Características físicas y químicas del producto estabilizante**

<b>Detalle</b>	<b>Estabilizador Químico (Sal)</b>
Estado Físico	<b>Sólido</b>
Color	<b>Blanco invierno</b>
Olor	<b>inoloro</b>
Valor ph (50g/lt)	<b>5 – 8</b>
Punto de fusión	<b>800 °C</b>
Punto de ebullición	<b>1461 °C</b>
Densidad a 20 °C	<b>1.35 gr/cm<sup>3</sup></b>
Solubilidad en agua a 20 °C	<b>360 gr/lt</b>

**Tabla N° 4.c. Estabilidad y reactividad**

<b>Detalle</b>	<b>Estabilizador Químico (Sal)</b>
Estabilidad	<b>Estable</b>
Condiciones a evitar	<b>Humedad</b>
Incompresibilidad	<b>Agua</b>

**Tabla N° 4.d. Medidas de lucha contra incendio**

Detalle	Estabilizador Químico (Sal)
Agente de extinción	<b>adaptar a los materiales en el contorno</b>
Riesgos especiales	<b>ninguno</b>
Referencia adicionales	<b>incombustible</b>

**Tabla N° 4.e. Manipulación y almacenamiento**

Detalle	Estabilizador Químico (Sal)
Manipulación	<b>evitar contacto con los ojos</b>
Almacenamiento	<b>ambiente cerrado y seco evitar humedad</b>
Embalaje recomendado	<b>saco de polopropileno</b>

**Tabla N° 4.f. Medida para control de derrame o fuga**

Detalle	Estabilizador Químico (Sal)
Procedimiento de recogida	<b>limpieza</b> <b>recoger seco</b> <b>eliminar los residuos con mucha agua</b>
Por barrido	<b>proceder a su eliminación</b>

**Tabla N° 4.g. Control de exposición / Protección especial**

Detalle	Estabilizador Químico (Sal)
Protección respiratoria	<b>maskarilla de papel filtro</b>
Protección de las manos	<b>precisa</b>
Protección de los ojos	<b>innecesaria</b>
Medida de higiene particulares	<b>lavado de manos al finalizar el trabajo</b>

**Tabla N° 4.h. Información toxicologica**

Detalle	Estabilizador Químico (Sal)
Toxicidad aguda	dl 50 (oral, rata):3000mg/kg
Informaciones adicionales	tras contacto con los ajos: irritaciones tras ingestión de grandes cantidades náuseas, vómitos
Información complementaria	no deben esperarse efectos tóxicos si la manipulación

#### **4.4.- Determinación de la dosificación de sal**

Para determinar la dosificación de sal se debió efectuar algunos ensayos de mecánica de suelo.

Requerimientos de los áridos

#### **Índice de Plasticidad**

**Tabla N° 4.i. Índice de plasticidad**

REGION	PORCENTAJE DE FINO	
	8 – 15	16 - 25
I - II	15 Máx.	10 Máx.
III - IV	10 Máx.	6 Máx.
V - XII	5 Máx.	3 Máx.

**Fuente :** Tabla de recomendación de Vialidad para la dosificación de sal.

El suelo patrón estudiado tiene un Índice de Plasticidad de 6, un poco mas de lo requerido para las región de Valdivia según Fig. 1 por lo tanto utilizaremos para la dosificación de sal un Índice de plasticidad de 5 que seria el máximo para la región.

**Tabla N°4.j. Dosificación de sal**

<b>Porcentaje de finos (%)</b>	<b>de Índice de Plasticidad</b>	<b>Dosificación (% Pseco)</b>
8 - 15	<b>15</b>	<b>1.2</b>
8 - 15	<b>10</b>	<b>1.4</b>
8 - 15	<b>5</b>	<b>1.8</b>
19 - 25	<b>10</b>	<b>1.1</b>
16 - 25	<b>6</b>	<b>1.5</b>
16 - 25	<b>3</b>	<b>1.7</b>

**Fuente :** Tabla de recomendación de Vialidad para la dosificación de sal.

El porcentaje de fino en la muestra es de 6.9, entrando en el rango 8 – 15.

Entonces la dosificación es 1.8 % Pseco (Peso del suelo seco)

**4.5.- Desarrollo de trabajo en laboratorio.**

En el presente capítulo, se darán a conocer antecedentes y procedimientos de ensayos practicados a los suelos, que corresponderán a ensayos de rutina ( que se realizan habitualmente en laboratorio) y ensayo especiales.

<b>GRANEL</b>	<b>SALMUERA</b>	<b>50% - 50%</b>
<b>En un total de muestra de suelo 119.360 kg. , adición 2.148 kg. de sal.</b>	<b>Se disolvió en el agua de amasado 118 grs de sal.</b>	<b>Se disolvió en el agua de amasado 49 grs de sal y el otro 49 grs se adiciono a granel a la muestra.</b>

#### **4.5.1.- Ensayes de rutina**

El tipo de ensayo que se realiza permite conocer el tipo de suelo, maximizar el rendimiento de la maquinaria y evaluar la capacidad de soporte que puede tener.

Los ensayos practicados en este estudio son:

- Granulometría
- Limite de Atterberg o de consistencia
- Relación humedad – densidad Proctor Modificado

#### **4.5.2.- Ensaye especial**

- Razón de soporte de California
- Prueba de compresión triaxial de resistencia al esfuerzo de corte

#### **4.5.3.- Recomendaciones**

- Densidad de la capa compactada como mínimo de 97% D.M.C.S, si la aplicación es de sal a granel y si es aplicada en solución (salmuera) como mínimo un 95% D.M.C.S si la aplicación se hace en terreno, esto es, para controlar la densidad en terreno solamente si se aplica a granel o diluida respectivamente.<sup>9</sup>
- Tamaño máximo del árido 1/3 del espesor de la carpeta, es decir, el tamaño máximo utilizado en esta trabajo es de 2” por lo tanto el espesor de la carpeta de rodado debiera ser de 15 cm.<sup>10</sup>
- Para ver cuanto deben cambiar las propiedades mecánicas de suelo es importante saber que el CBR con la aplicación de sal no debe ser menor al 5% , y el CBR con

---

<sup>9</sup> Fuente: Solís Cristian, jefe Área Geotecnia , Lab. Nacional de Vialidad.

<sup>10</sup> Laboratorio Nacional de Vialidad Curso de capacitación “Nuevas normativas contenidas en los volúmenes N°5 y N° 8 del manual de carreteras”. 18 al 22 de Octubre de 2004.

inmersión sea mayor o igual a 10 % , además la resistencia mínima entre el suelo con sal y suelo patrón no debe ser menor al 50% entre ambos. <sup>7</sup>

- Con respecto al IP para bases se recomienda que la fracción que pasa bajo la malla N°40 sea menor que 6 y un límite líquido menor que el 35% y si es para una carpeta de rodado expuesta al uso, se recomienda que su valor este entre 4 y 9, con un límite líquido menor que 35 %.<sup>11</sup>
  
- Para minimizar el efecto de las precipitaciones se recomienda un perfil que permita un mejor escurrimiento del agua de lluvia sobre el camino, para lo cual se debe emplear un perfil tipo “A” con un bombeo de 4% en la zona Sur y un 2% en la zona Norte.<sup>12</sup>
  
- Debido a la propiedad de la sal de atraer la humedad ambiente, se recomienda aplicar el producto inmediatamente después de terminada la estación de invierno. La aplicación no debe ser realizada cuando este lloviendo o exista la posibilidad de lluvia, debido a la alta solubilidad que posee la sal en el agua, lo que puede producir que después de una lluvia la sal migre fuera de la superficie.

---

<sup>11</sup> Capitulo 8.100, Manual de carretera

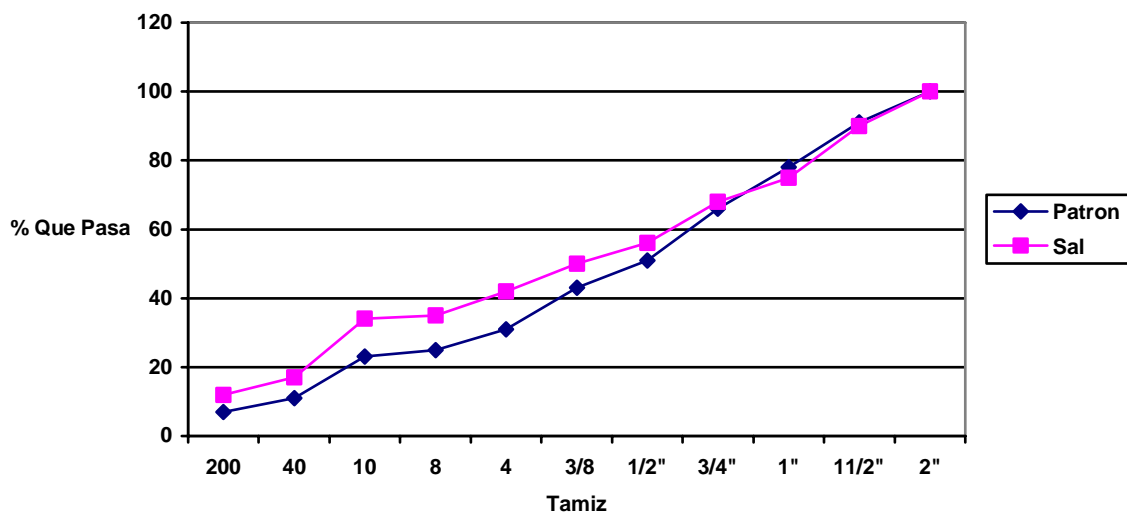
<sup>12</sup> Información adquirida en Taller “ Empleo de Sal en Caminos Básicos” .Abril 2004

#### 4.6.- Granulometría

Este ensayo se llevara a cabo según la norma Nch 165-77 (LNV65-84) y para la determinación del material fino menor a 0.080mm por Nch 1223-77 (LNV70-84).

Una modificación que se produce en la fracción fina del suelo al tratarse con sal es la formación de grumos producto de la floculación de partículas mas finas por el cementante.

**Gráfico N° 4.k. Granulometría Clasificación GP- GM**



**Fuente:** Elab. propia

En este gráfico se aprecia un aumento de la parte fina de la banda, cambio esperado por la adición de la sal, estando su banda granulométrica comprendida bajo la malla N°4. Aumentando la parte fina en un 74% del suelo patrón.

#### 4.7.- Límites de consistencia

Estos ensayos se llevaran a cabo según la norma Nch 1517/I-79 (LNV 89-85) para determinar el Límite Líquido y para el Límite Plástico Nch 1517/II-78 (LNV 90-85).

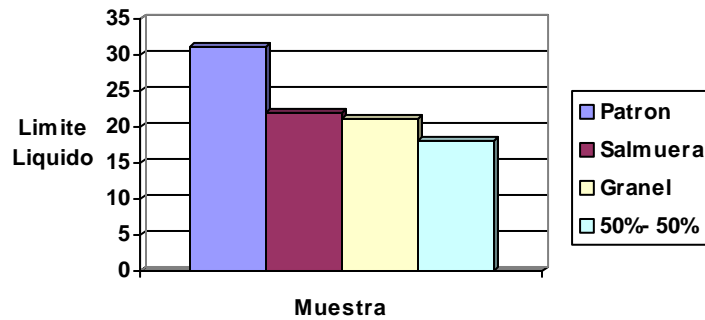
#### **LIMITE LIQUIDO**

Se ensayó un tipo de suelo clasificado como GP - GM con una misma dosificación (1.8% Pseco) de sal en distintas formas de adicionar la sal a: granel, salmuera y mitad granel mitad salmuera obteniendo los siguientes resultados .



Los resultados de estas tres formas de adicionar la sal aparecen en los siguientes gráficos

**Gráfico N° 4.l. Limite liquido para las distintas formas de adicionar la sal.**



Fuente: Elab. propia

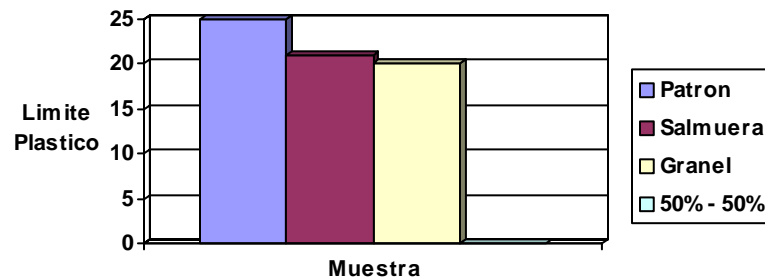
Este grafico muestra que con la incorporación de sal en forma 50% granel – 50% diluida es la que más disminuye el limite liquido, disminuyendo en un 42% con respecto al suelo patrón.

La forma granel disminuye el limite liquido en un 32% y la aplicación en salmuera disminuyo un 29% con respecto al suelo patrón.

Al disminuir el Limite Liquido también lo hace el Limite plástico.

## LIMITE PLASTICO

**Gráfico N° 4.m. Limite Plástico para las distintas formas de adicionar la sal**



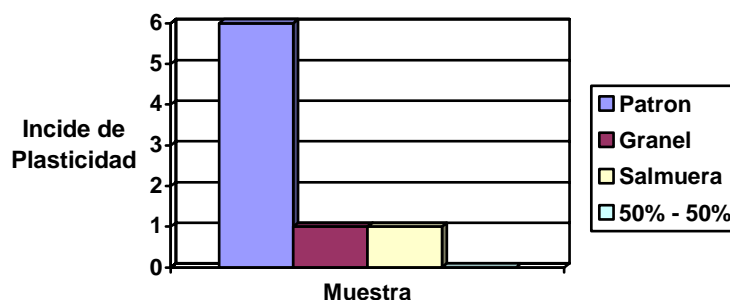
Fuente: Elab. propia

En forma a granel o en salmuera se ve una disminución de su índice de plasticidad con un contenido de 1.8% de sal, debido a un descenso mas rápido del Limite liquido que el experimentado por el Limite Plástico.

El suelo experimenta un decrecimiento tanto del L.L. como del L.P , viéndose mas desfavorecido las ultimas dos adiciones ,pareciera que esto se debe a que la sal esta aplicada a granel lo cual hace difícil la disolución.

## INDICE DE PLASTICIDAD

**Gráfico N° 4.n. Índice de Plasticidad para las distintas formas de adicionar la sal**



Fuente: Elab. propia

En este grafico se coloca en antecedente los resultados obtenidos por el ensaye de límites de consistencia obteniéndose una semejanza en la disminución del índice de plasticidad semejante entre la forma de granel y salmuera.

El índice Plástico baja considerablemente con la adición de sal especialmente si se aplica en dosificaciones 50 % a granel y 50 % diluida, volviéndose la muestra NP (no plástico)

El índice de plasticidad disminuyó en un 83% cuando se le adicionó a la muestra la sal en forma a granel y en forma de salmuera con respecto al suelo patrón.

Con la incorporación de sal a la muestra, se ve alterado el valor de la plasticidad, según lo que se pudo apreciar en los ensayos de laboratorio.

#### **4.8.- Relación Humedad-Densidad**

Este ensayo se llevara a cabo según la norma Nch 1534/II-79 (LNV95-85)

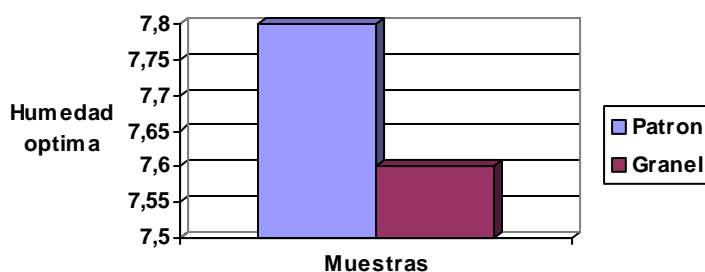
Los resultados de los ensayos de humedad- densidad máxima seca, son presentados en los siguientes gráficos. En este estudio se ha preferido construir gráficos humedad óptima-formas de adicionar la sal y densidad máxima- formas de adicionar la sal antes que la humedad-densidad corrientemente usados, ya que estos permiten apreciar mejor el efecto que produce la sal y además agregada de tres formas distintas sobre esas propiedades.

Junto con determinar el grado de compactación se conocerá la humedad optima, valores que son alterados mediante la adición de sal. Mediante ensayes determinar la relación humedad densidad para distinta formas de adicionar la sal para una misma muestra de suelo (GP – GM).

Los estudio se realizaron utilizando el ensayo Proctor Modificado , por el método variante D , la que considera material que pasa el tamiz N° ¾ (20mm), molde de 6” de diámetro, pison de 10 lb y 18” de altura de caída. El material se distribuye en 5 capas, cada una compactada con 56 golpes uniformemente repartidos.

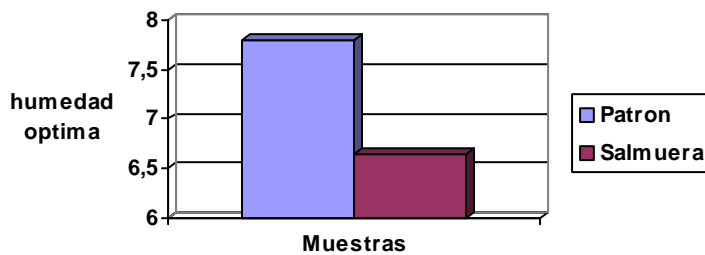
La humedad óptima se determina a través del ensayo para la determinación de la densidad máxima.

**Gráficos N° 4.ñ. Humedad óptima para las distintas formas de adicionar la sal.**



**Fuente:** Elab. propia

Podemos apreciar del grafico que la humedad óptima disminuye con adicción de sal en forma de granel. Esta disminución es del 3% con respecto del suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

Pero con la adición de sal en forma de salmuera se aprecia que baja la humedad óptima como producto de la incorporación de sal, disminuyendo en un 15 % su humedad óptima comparado con el suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

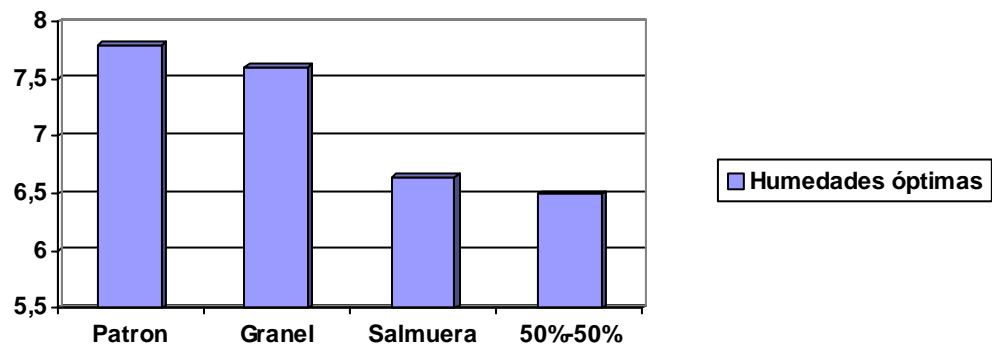
Sin embargo la humedad óptima menor se obtiene con la incorporación de sal en forma de 50%-50% obteniéndose un 17 % menos que el suelo patrón.

Como conclusión se observa que con la adición de sal, la humedad óptima disminuye especialmente en forma de 50%-50%. Ya que ésta hizo disminuir en un 17% la humedad óptima.

La adición de sal en 50%-50% ,salmuera o granel tiene mas tensión superficial que el agua, propiedad que tiene el efecto de reducir el punto de evaporación del agua durante la compactación.

Es bueno que disminuya humedad óptima porque así aumenta la densidad del suelo.

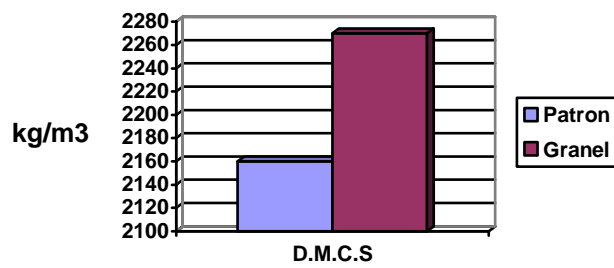
**Gráfico N° 4.o. Resumen de la humedad óptima para las distintas formas de adicionar la sal.**



Fuente: Elab. propia

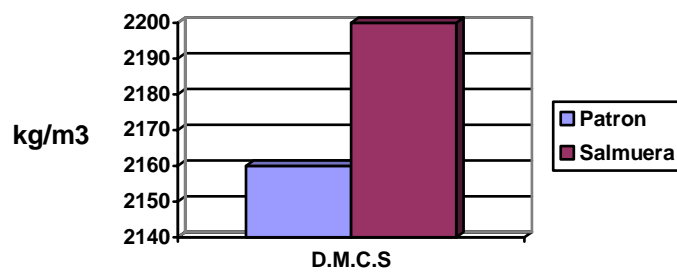
**4.9.- Densidad Compactada Seca**

**Gráfico N° 4.p. Densidad compactada seca para las distintas formas de adicionar la sal**



Fuente: Elab. propia

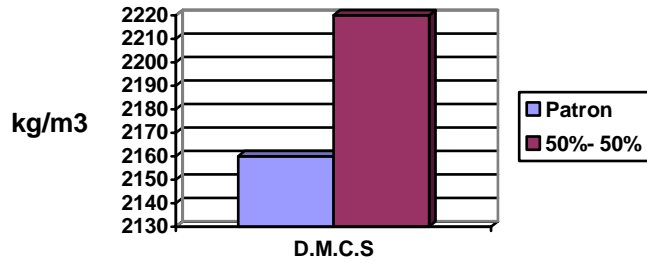
En este grafico se ve un incremento en la densidad compactada en un 5.0% con respecto del suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

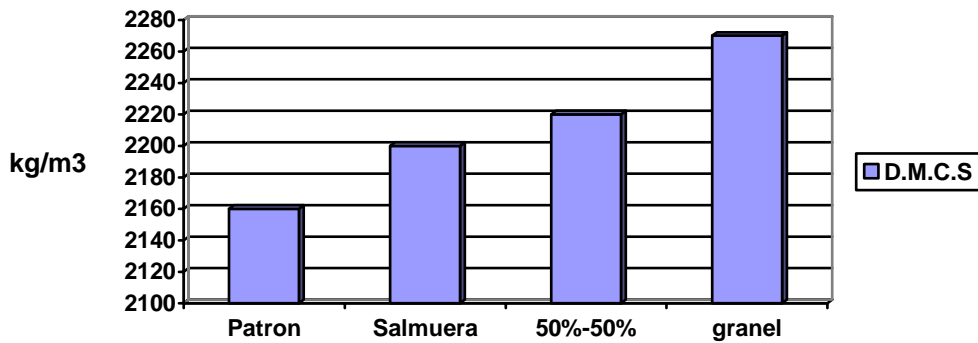
Podemos apreciar un 2.0% de aumento en la densidad compactada seca en forma de salmuera

Y un 3.0% aumento en adicionar la sal en forma de 50% - 50%.



Fuente: Elab. propia

**Gráfico N° 4.q. Resumen variación de D.M.C.S de las distintas formas de adicionar la sal.**



Fuente: Elab. propia

En conclusión se puede decir según los resultados obtenidos que la incorporación de la sal produce un aumento de la densidad máxima D.M.C.S, lo cual se ve reflejado en los gráficos aumentando más en la colocación en forma a granel (aumentando en un 5.0% con respecto al suelo patrón) favorecido esto ya que la sal se encuentra en grano, con la adición en 50% - 50% ésta aumentó en un 3.0% ya que la sal en grano sigue dominando la muestra haciendo difícil su disolución, sin embargo en la adición en forma de salmuera, a pesar que la sal esta como solución (salmuera o diluida) la D.M.C.S igual aumenta en un 2.0% del suelo patrón variando en tan sólo un 3.0% entre esta solución y la que más aumenta la D.M.C.S.

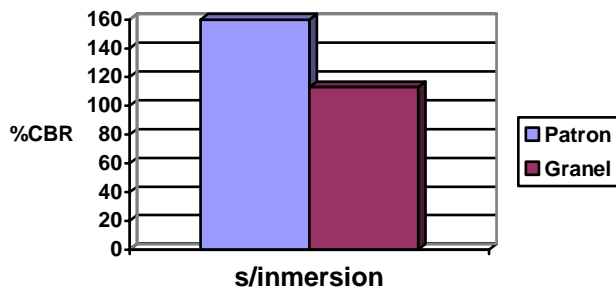
A pesar que la sal diluida no es la que más aumenta funciona en mejor forma ya que se distribuye de una mejor manera; adhiriéndose al suelo, constituyendo una ventaja, ya que favorece la compactación del suelo.

#### 4.10.- Capacidad de soporte (CBR)

El ensayo CBR o Razón de Soporte de California, mide la resistencia al corte de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

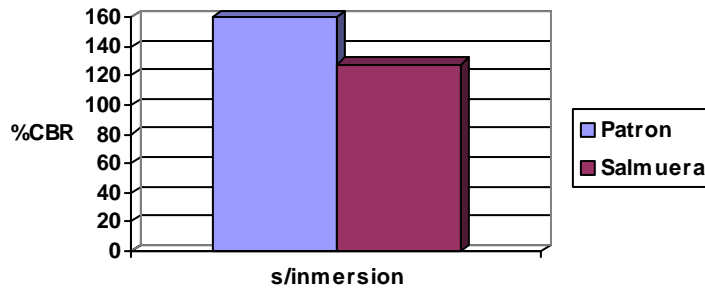
#### C.B.R SIN INMERSIÓN

**Gráfico N°4.r Capacidad de Soporte C.B.R ; s/inmersión para las distintas formas de adicionar la sal.**



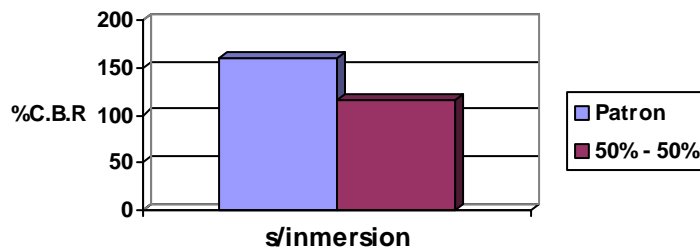
Fuente: Elab. propia

Disminuyo un 30% con respecto al suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

Disminuyo un 20% con respecto al suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

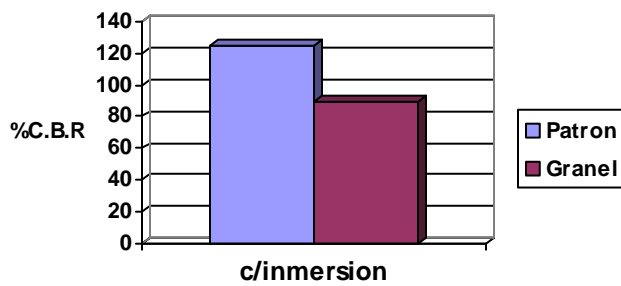
Disminuyo un 28% con respecto al suelo patrón.

Sin embargo, en forma de salmuera disminuye sólo un 20% ( s/inmersión) del suelo patrón, siendo esta la forma que menos disminuyo con respecto a sus otras dos alternativas restantes.

### C.B.R CON INMERSION

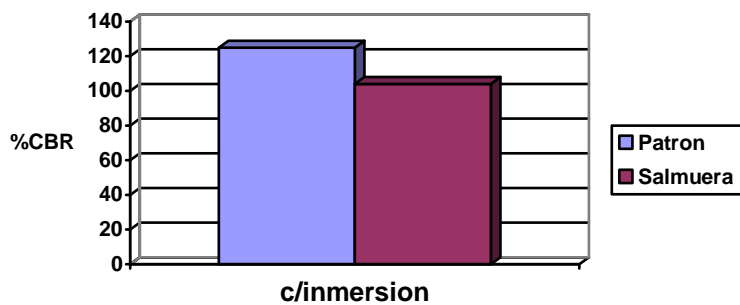
Los ensayos de CBR fueron realizados según la norma ya antes dicha en forma saturada por 96 horas, las muestras fueron confeccionadas y sumergidas de inmediato en agua para luego ser ensayados y cuyos resultados se ven reflejados en los siguientes gráficos:

**Gráfico N° 4.s. Capacidad de Soporte C.B.R ; c/inmersión para las distintas formas de adicionar la sal**



Fuente: Elab. propia

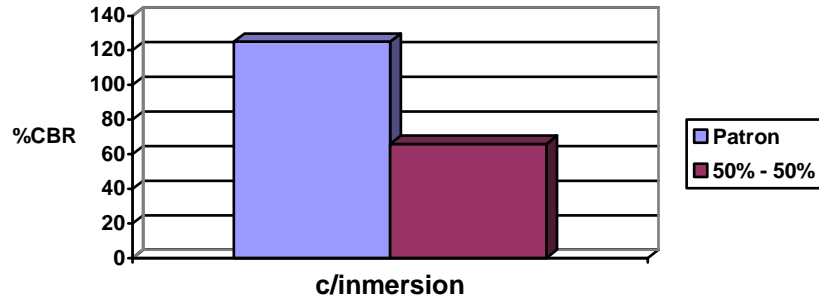
Disminuyo un 28 % con respecto al suelo patrón.



Fuente: Elab. propia



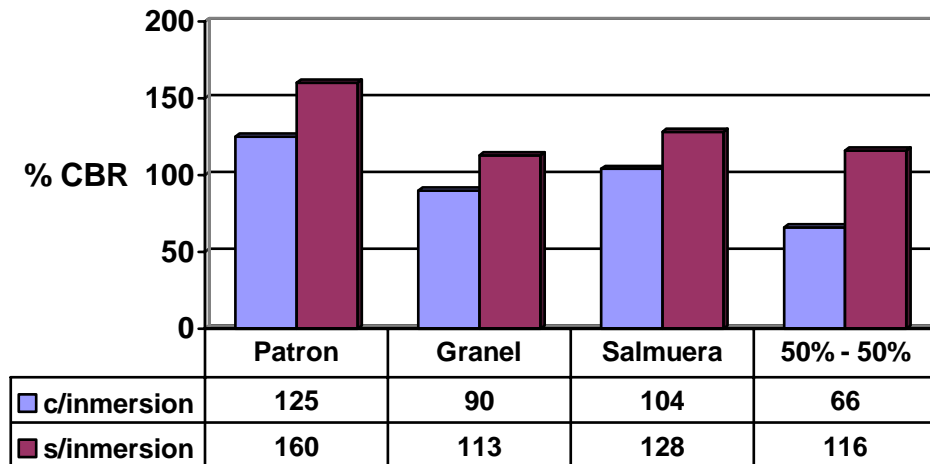
Aquí el CBR disminuyó igualmente que la sal a granel; un 17%, siendo la adición en 50% - 50% la que más disminuye el CBR en un 47% con respecto al suelo patrón.



Fuente: Elab. propia

Se observa a través de los gráficos que la adición de sal no aumenta el CBR. Por lo que los valores obtenidos para las distintas formas de colocar la sal, no evidencia una mejora en el soporte.

**Gráfico N°4.t. Resumen Capacidad de Soporte C.B.R para las distintas formas de adicionar la sal.**



Fuente: Elab. propia

Con estos resultados podríamos indicar que el soporte no aumenta con la aplicación de la sal, situación que no es efectiva ya que la experiencia indica lo contrario. Por lo tanto, se estudiara ensayo de compresión no confinada.

#### **4.11.- Prueba de Compresión no Confinada (ASTM D 2166 – 00)**

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. Pero en este caso le debimos adicionar sal para ver que sucedía, pero con la construcción o reconstitución de la muestra deberíamos obtener resultados similares a lo que sucede en terreno.

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.

El tamaño de la muestra depende del tipo de suelo involucrado, por ejemplo en un suelo de alto contenido de fino el tamaño de ésta será relativamente pequeño, pero a medida que aumenta el material granular y disminuya el fino el tamaño de la muestra será cada vez mayor y volviendo frágil la muestra para desmoldarla y colocarla en la máquina a ensayar, por tal razón en el caso de esta investigación no se obtuvo lo esperado debido a que el material era granular. Por lo tanto para seguir adelante con el ensayo debimos confeccionar una probeta especial.

##### **4.11.A.- Resistencia a la compresión no confinada**

El suelo estudiado fue mezclado con un porcentaje de sal de 1.8% Pseco en forma de salmuera solamente. De esta manera se mejora ostensiblemente la cohesión del material de la carpeta de rodadura ya que esta forma es mejor para adicionarla al suelo porque queda mas homogénea y se distribuye bien, no formando grumos como el caso de la sal a granel que puede que queda mas en una parte que en otras produciendo variaciones no deseadas.

Con esta forma de adicionar la sal determinaremos que efecto produce ésta sobre la compresión no confinada.

##### **4.11.B.- Preparación de la mezcla suelo - sal**

Todas las muestras de suelo usadas en este estudio corresponden a muestras alteradas, las que fueron secadas al horno y pasadas por la malla N° 4, descartándose lo retenido en ella. A

continuación se agregó la sal en forma de salmuera mezclándose en forma manual por un periodo de 5 minutos.

#### 4.11.C.- Preparación de la probeta

Primero se pensó en probetas hechas a mano con un tubo de P.V.C de 2" de diámetro y 10 cm de altura, abiertas al costado para poder desmoldar bien la muestra. Fotografía N°10



Fotografías N°10

Se llevo a cabo bien, pero se retardaba mucho en desmoldarla, por el cuidado que se debía tener para que no se agrietara antes de ser ensayadas. Después se utilizo una probeta de acero de 5cm de diámetro por 10cm de alto, con esta probeta se pudo sacar mas fácil y rápido la muestra.



**Fotografías N°11**

#### **4.11.D.- Moldeo de la probeta**

Este fue comenzado después de haber hecho el mezclado, agregándole la sal a la cantidad de agua necesaria, es decir en salmuera, para obtener el contenido de humedad optimo. Las probetas se compactaron a 5 capas de 56 golpes cada una.

#### **4.11.E.- Curado de las probetas**

El curado de las probetas en ambiente húmedo se efectuó dentro de la cámara húmeda del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Austral de Chile: Lemco. agregándole vapor a la muestra en forma directa antes de ser ensayado .

Paralelamente se efectuó una experiencia con otro tipo de curado a objeto de determinar el efecto que este tiene sobre las resistencia a la compresión no confinada y el contenido de humedad.

Este experiencia consistió en sumergir las probetas en agua por un periodo de 2, 6, 8 hrs hasta un día.

#### 4.11.F.- Curado húmedo

En general, los valores de resistencia obtenidos para las mezclas de suelo-salmuera a los 2, 4 y 6 días varían de un  $1.48 \text{ kg/cm}^2$  sin curado a un  $1.25 \text{ kg/cm}^2$  con curado de 6 días máximo, Disminuyendo en 16% con respecto a la probeta sin curado.

#### 4.11.G.- Inmersión en agua

Sin embargo, las probetas que se sumergieron en agua no pudieron ser ensayadas por haberse desecho antes del tiempo predeterminado que era de mínimo 2 horas.

#### 4.11.H.- Variación del contenido de humedad

Inmediatamente después de ensayar las probetas a la compresión no confinada, se tomo el contenido de humedad de ellas de acuerdo con el método indicado por la norma Nch 1515-79 (LNV61-85)

#### 4.12.- Procedimiento de ensaye no confinado



- Secado y tamizado del material.
- Cortar probetas en mallla N° 4.
- Confeccionar probetas con suelo a estabilizar con una dosificación de 1.8% Pseco, para cada tipo o forma de adicionar la sal.

- Ensayar y graficar los resultados obtenidos



**Fotografías N°12**

Con el suelo se fabricaron muestras conteniendo 1.8% de sal expresada como porcentaje en peso con respecto del suelo seco.

Además, se usaron los suelos en estado natural a modo de patrón de comparación.

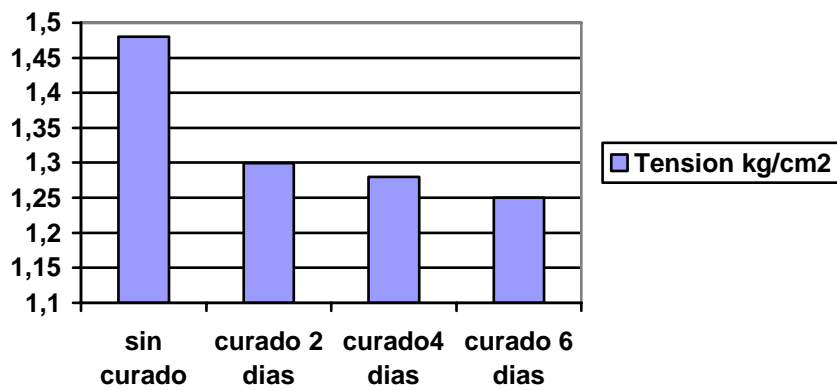
Con el resultado de los ensayos representados en la Gráfico N° 4.u se concluye que con la adición de la sal si aumenta el soporte, el cual no fue posible medir directamente en el ensayo de CBR.

**Gráfico N° 4.u. Ensayo compresión no confinada**



Fuente: Elab. propia

**Gráfico N° 4.v. Variación de las Resistencia a través del tiempo**

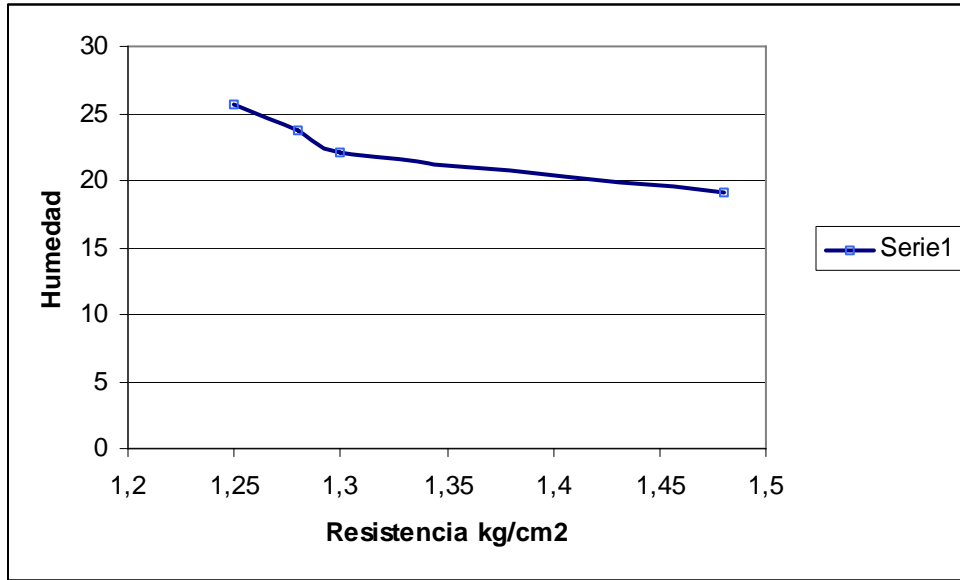


Fuente : Elab. propia

En el siguiente grafico se puede observar que las resistencias van disminuyendo a través de los días. Al sexto día la resistencia es menor que la del suelo patrón.

Curadas las probetas en un ambiente húmedo hicieron aumentar el contenido de humedad a través de los días.

**Gráfico N° 4.w. Variación de la Resistencia según el contenido de humedad**



Fuente : Elab. propia

#### **4.13.- Análisis de resultados**

Mediante el análisis de resultado se puede observar un aumento en la fracción fina de la muestra, aumentando desde un 6,9% del fino del suelo patrón a un 12% con la adición de sal. La sal actúa fundamentalmente en la matriz fina arcillosa de un estabilizado, por lo que la existencia de dicha matriz es importante para lograr una carpeta durable y con buenas condiciones de rodado.

El I.P del suelo patrón es 6 , al adicionarle sal en forma de salmuera y granel se ve alterado el I.P, disminuyendo a 1,0 . En el caso de adicionar la sal en forma 50% granel – 50% salmuera, la muestra se volvió N.P.

Los resultados de ensayos de laboratorio indican que el CBR no aporta resultados que permitan cuantificar los efectos beneficiosos de la sal, ya que con la adición del Cloruro de Sodio no se ve aumentado su capacidad de soporte.

Con el ensayo de resistencia al corte del suelo, medida a través de la resistencia a la compresión no confinada, se observa un aumento de la resistencia de 1.32 kg/cm<sup>2</sup> del suelo patrón , sin adición de sal, a un 1.48 kg/cm<sup>2</sup> con adición de sal a la muestra en forma de salmuera, permitiendo dar un juicio definitivo respecto de la influencia del cloruro de sodio. Observándose un aumentada en la resistencia con la adición de sal. Sin embargo, se puede observar que las

resistencias según el contenido de humedad van disminuyendo a través de los días. Al sexto día la resistencia es menor que la del suelo patrón.

La densidad máxima compactada seca se ve aumentada con la incorporación de sal. Para el suelo patrón se observa una D.M.C.S. de  $2.160 \text{ kg/m}^3$ , obteniéndose el mayor aumento en adición a granel, aumentando a una D.M.C.S. de  $2.270 \text{ kg/m}^3$ .



## CAPITULO V

### **ESTUDIO DE COSTOS COMPARATIVOS CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL ASFALTICO SIMPLE**

#### **5.- Estudio de costos comparativos con Tratamiento Superficial Asfáltico Simple**

En el presente capítulo se pretende dar una evaluación de costos para la estabilización con sal de una carpeta de rodado de 1 km de longitud y compararlo con los costos que tendría la alternativa de un tratamiento superficial asfáltico simple. Para tal efecto se cuantifican los costos de construcción y de mantención para conservarla en buenas condiciones de funcionalidad.

#### **5.1.- Bases de cálculo**

En general las bases son las mismas para ambos tipos de carpeta con sal o para un tratamiento simple.

- i. El material se encuentra en el camino.
- ii. Acordonar el material existente y despedrarlo, sacando el sobre tamaño superior a 2".
- iii. Agregar sal (NaCl) de Sal Lobos en 1.8% en peso seco del material compactado. Para la estimación de costos se toman como promedio los siguientes datos:

- Densidad del material compactado 2.16 ton/m<sup>3</sup> (95% del proctor modificado)
- Espesor de la carpeta 0.15 m.
- Ancho del camino 6,0 m.
- Bermas de 0.5 m. c/u.
- 1.8% c/r al peso seco de sal a agregar.

Por consiguiente se requieren 33 kgs. de sal por metro lineal de carpeta.

#### **5.2.-Confección de la carpeta**

Colocación del material chancado cuesta alrededor de \$ 6.525 m<sup>3</sup> incluyendo en ese precio, la chancadora, Motoniveladora, cargador, aljibe, transporte y capataces.

Para poder hacer una comparación de valores entre un tratamiento simple o un tratamiento con sal se considerará para ambos casos el mismo tipo o especificaciones de carpeta de rodado (material pétreo chancado).

Se considera para esta comparación un perfil de camino de 6 mts. de ancho, más 0.50 mts. de berma por ambos lados con espesor de 0.15 mts.

### 5.2.1.- Costo construcción de carpeta de rodado

	Valor maquinaria por hora (\$) *	Rendimiento	Precio del material chancado por m <sup>3</sup> (\$)
Cargador	20.000	50 m <sup>3</sup> /hr	400
Chancadora	21.500	6 m <sup>3</sup> /hr	3.583
Motoniveladora	24.000	90 m <sup>3</sup> /hr	267
Aljibe	100000	90 m <sup>3</sup> /hr	111
Rodillo	26.000	90 m <sup>3</sup> /hr	289
Trasporte	10.000	12 m <sup>3</sup> /hr	833
		<b>Sub-Total</b>	<b>5.483</b>
		<b>19% IVA</b>	<b>1.042</b>
		<b>Total</b>	<b>6.525</b>

\*: la tarifa de operación incluye horas de trabajo por equipo, costos por concepto de operación, petróleo, operador, transporte.

### 5.2.2.- Costo del NaCl según lo requerido para elaboración de carpeta de rodado

Producto estabilizante	Carpeta de rodado (m <sup>3</sup> )	Cantidad de estabilizante requerido (kg)	Precio por kilogramo de sal (\$) **	Valor total de producto requerido para 1 km de estabilizado. (\$)
NaCl	900	32.400	53	1.717.200

\*\* : este valor corresponde al costo del producto en Valdivia, es decir incluye el traslado del producto.

### 5.2.3.- Costo de estabilizar el camino con sal

Costo de carpeta de rodado (\$)	costo por producto estabilizante (\$)	costo M.O colocación del material (\$) ***	costo del estabilizante por metro cúbico de suelo (\$/m <sup>3</sup> )	Valor Total estabilizado del camino (1 km) (\$)
5.872.500	1.717.200	60.000	8.500	7.649.700

\*\*\* : el costo de mano de obra se estiman para 4 capataces, en una jornada de 8 horas a un costo \$10.000 C/L.Sociales

### 5.3.- Costos de mantención camino con sal

Mantencion de Invierno	Costo de reparación por metro cuadrado del camino. (\$/m <sup>2</sup> )
Reperfilado y compactado	1265

Aunque la durabilidad de un camino depende de muchos factores, en la zona norte, existen caminos que no han sufrido deterioro y tienen más de 7 años de edad, conservándose en perfectas condiciones. Como en la Décima Región no existen antecedentes de caminos con sal con una granulometría controlada se consideraran mantenciones todos los meses del año, la cual consistirá en compactar la superficie con una motoniveladora una vez al mes por diez meses y dos veces al año se le agregara un 30% de la sal con respecto a la sal colocada inicialmente.

La vida útil se considerara de tres año ya que para el cuarto año el camino se construirá nuevamente, por lo tanto, con las mantenciones del año, que corresponderá a perfilado y compactado del camino, mas una incorporación de sal dos veces al año. Al cuarto año el camino se hará de nuevo.

La vida útil de un Tratamiento Superficial Simple se estima en 6 años, y las mantenciones comenzarán el tercer año de uso, ya que antes no las necesita. El séptimo año el tratamiento se deberá hacer de nuevo.

La programación de estas mantenciones deben planearse de tal forma que la intervención comience a ejecutarse en forma ideal durante la primavera, pero en ningún caso en tiempos de lluvia.

Otro tipo de mantencion para la carpeta con sal solo se hará realizando un recorrido a pie con dos jornaleros tapando los baches que vayan apareciendo. Para tal efecto se utiliza material extraído de las bermas que contiene sal ya que la sal tiende a emigrar hacia los costados, el que deberá ser compactado con un pison de mano. Este recorrido se puede efectuar una vez al mes.

#### **5.4.- Costo carpeta de rodado Tratamiento Superficial Simple**

	Precio por m <sup>2</sup>
Preparación subrasante	190
Imprimación	490
Tratamiento simple	1.560
<b>Sub total</b>	<b>2.240</b>
<b>19% I.V.A</b>	<b>426</b>
<b>Total</b>	<b>2.666</b>

Producto	carpeta de rodado superf. a sellar (m <sup>2</sup> )	Precio de simple tratamiento (\$)	Valor Total del producto requerido en el proceso de tratar 1 km (\$)
Trat. superf. simple	6.000	2.666	15.993.600

Costo de carpeta de rodado (\$)	costo por producto estabilizante (\$)	costo del estabilizante por metro cúbico de suelo (\$/m <sup>3</sup> )	Valor Total estabilizado del camino (1 km)
5.872.500	15.993.600	24.296	21.866.100

### **5.5.- Costo mantención camino con Tratamiento Superficial Simple**

Mantencion de bacheo	Costo mantencion de bache superficial manual con mezcla <sup>13</sup> m <sup>2</sup> .	Costo de mantención de 1 km de camino al año. + I.V.A
20 m <sup>2</sup> al año <sup>14</sup>	10.481 <sup>15</sup>	209.620

<sup>13</sup> Material ASFA09 (Asfalto Instantáneo permapatch.)

<sup>14</sup> Fuente: Riquelme Anastasio, Const. Civil, Jefe de conservación de la Dirección de Vialidad

<sup>15</sup> Anexo 4

### **5.6.- Evaluación de los costos actualizados de ambas alternativas.**

Se determinaran los costos de mantencion y de operación de las alternativas propuestas (estabilización con Cloruro de Sodio y un Tratamiento Superficial Simple). El escenario será el mismo para ambos casos, con una tasa de interés del 10%, ya que esté es la TSD (Tasa Social de Descuento) fijada por el Centro Nacional de Inversiones para el año 2005 en adelante.

Para poder comparar estos dos proyectos que tienen distinta duración , se contempla un período de análisis bastante superior al de la alternativa con mayor vida útil.

Dado que en el caso de la aplicación de las sal, se debe renovar el camino al inicio del cuarto año y que en el caso del Tratamiento Superficial Simple, el camino debe renovarse al inicio del séptimo año se considerara un período de a lo menos 20 años.

➤ Estabilización con Cloruro de Sodio:

**Tabla N° 5.6.a Costo Estabilización con Cloruro de Sodio**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Inversión inicial	7.649.700				7.649.700				7.649.700			
Costo de mantencion		3.973.422	3.973.422	3.973.422	720.000	3.973.422	3.973.422	3.973.422	720.000	3.973.422	3.973.422	3.973.422
Costo total anual	7.649.700	3.973.422	3.973.422	3.973.422	8.369.700	3.973.422	3.973.422	3.973.422	8.369.700	3.973.422	3.973.422	3.973.422
Costo actualizado	7.649.700	3.612.202	3.283.820	2.985.291	5.716.618	2.467.182	2.242.893	2.038.994	3.904.527	1.685.119	1.531.926	1.392.660
Costo actual acumulado	7.649.700	11.261.902	14.545.722	17.531.012	23.247.630	25.714.813	27.957.706	29.996.699	33.901.226	35.586.345	37.118.271	38.510.931

12	13	14	15	16	17	18	19	20
7.649.700				7.649.700				7.649.700
720.000	3.973.422	3.973.422	3.973.422	720.000	3.973.422	3.973.422	3.973.422	720.000
8.369.700	3.973.422	3.973.422	3.973.422	8.369.700	3.973.422	3.973.422	3.973.422	8.369.700
2.666.844	1.150.959	1.046.326	951.206	1.821.491	786.120	714.655	649.686	1.244.103
41.177.776	42.328.735	43.375.061	44.326.266	46.147.757	46.933.877	47.648.532	48.298.219	49.542.321

- Costo del estabilizado con sal a 20 años: \$ 49.542.321.-

➤ Tratamiento Superficial Simple:

**Tabla N°5.6.b Costo Estabilización con Tratamiento Superficial Simple**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Inversión inicial	21.866.100							21.866.100				
Costo de mantencion				249.448	249.448	249.448	249.448				249.448	249.448
Costo total anual	21.866.100			249.448	249.448	249.448	249.448	21.866.100			249.448	249.448
Costo actualizado	21.866.100			187.414	170.376	154.888	140.807	11.220.767			96.173	87.430
Costo actual acumulado	21.866.100	21.866.100	21.866.100	22.053.514	22.223.890	22.378.778	22.519.585	33.740.352	33.740.352	33.740.352	33.836.525	33.923.955

12	13	14	15	16	17	18	19	20
		21.866.100						
249.448	249.448				249.448	249.448	249.448	249.448
249.448	249.448	21.866.100			249.448	249.448	249.448	249.448
79.482	72.256	5.758.028			49.352	44.865	40.787	37.079
34.003.436	34.075.693	39.833.720	39.833.720	39.833.720	39.883.072	39.927.937	39.968.724	40.005.803

- Costo del Tratamiento superficial Simple a 20 años: \$ 40.005.803.-



➤ Diferencia actualizada entre los costos de ambas alternativas:

**Tabla N° 5.6.c. Diferencia de costo actualizado entre ambas alternativas estudiadas**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estab. con Cloruro de Sodio	7.649.700	3.612.202	3.283.820	2.985.291	5.716.618	2.467.182	2.242.893	2.038.994	3.904.527	1.685.119	1.531.926	1.392.660
Tratam. Superf. Simple	21.866.100	0	0	187.414	170.376	154.888	140.807	11.220.767	0	0	96.173	87.430
Diferencia costo actualizado	-14.216.400	0	3.283.820	2.797.877	5.546.241	2.312.295	2.102.086	-9.181.773	3.904.527	1.685.119	1.435.753	1.305.230
Diferencia acumulada	-14.216.400	-14.216.400	-10.932.580	-8.134.703	-2.588.462	-276.167	1.825.919	-7.355.854	-3.451.327	-1.766.208	-330.455	974.775

12	13	14	15	16	17	18	19	20
2.666.844	1.150.959	1.046.326	951.206	1.821.491	786.120	714.655	649.686	1.244.103
79.482	72.256	5.758.028	0	0	49.352	44.865	40.787	37.079
2.587.363	1.078.703	-4.711.701	951.206	1.821.491	736.768	669.789	608.900	1.207.024
3.562.138	4.640.840	-70.861	880.345	2.701.835	3.438.604	4.108.393	4.717.293	5.924.316

## **5.7.- Análisis de la Evaluación económica**

En la Tabla N° 5.6.a y N° 5.6.b, se muestran los costos correspondientes a la Estabilización con Cloruro de Sodio y un Tratamiento Superficial Simple.

En la primera fila se observa el costo inicial de la inversión, la cual se produce en el año cero, que es cuando se hace el camino y los años siguientes : cuarto , octavo, etc., el camino se reconstituye nuevamente , obteniendo el mismo valor de la inversión inicial. En la segunda fila se puede apreciar el costo de mantencion del camino tratado con sal, cuyas mantenciones en cada año consistirán en perfilado y compactado del camino durante 10 meses y dos veces al año (entrando a la temporada de invierno y saliendo de la temporada de verano) se le incorporara un 30% de la cantidad de sal colocada en un principio. El costo total anual, corresponde a la suma del costo de mantencion del camino más la inversión inicial del mismo. El costo actualizado es igual al costo total anual actualizado a la tasa social de descuento que es de un 10% .

El costo actual acumulado es la suma del costo actualizado del año en cuestión más el costo anual actualizado al año anterior a dicho año. Corresponde al costo total en que se incurrirá desde el periodo cero(instante en que se realiza la inversión inicial) hasta el año en cuestión, considerando como costo tanto la inversión como los costos de mantencion , ambos actualizados al 10%.

En la Tabla N° 5.6.c, se muestra las diferencias entre los costos actualizados anuales de Estabilizar con sal y los correspondientes al Tratamiento Superficial Simple.

El signo negativo (-) de la diferencia significa que en el año que ésta se produce, el costo actualizado del Tratamiento Superficial Simple es mayor ( en la cantidad que se indica) que el estabilizado con sal. El signo positivo (+) o ausencia de signo refleja lo contrario, es decir, que a medida que avanzan los años la alternativa de un Tratamiento Simple sale más económica que un Estabilizado con sal.

Según el precio de estabilizar con sal o con un Tratamiento Superficial Asfáltico Simple se observa que al transcurso de los años (20 años) la diferencia en el costo es bien significativo entre las dos alternativas, aumentando el costo del estabilizado con Cloruro de Sodio, esto se debe a las sucesivas mantenciones que se le debiera hacer al camino en la Provincia de Valdivia, encareciendo el costo de construcción con sus mantenciones periódicas.

En cambio, en el caso de un Tratamiento Superficial Simple la inversión sería grande al inicio del proyecto, comparada con el estabilizado con sal, pero a correr del tiempo no sería necesarias tantas mantenciones, ahorrando en el costo de mantenimiento.

En la Tabla N° 5.6.a y la Tabla 5.6.b, se puede apreciar que al año tres el Tratamiento Superficial Simple se hace más caro que una estabilización con sal, es decir, si se pretende estabilizar durante unos tres años solamente, en caso que el camino después sea utilizado para otro fin o por ahí pase más adelante la carretera etc, conviene hacer la alternativa más económica que sería la sal.

Ahora si la construcción del camino fuera más a largo plazo, según tabla anteriormente mencionada conviene hacer un tratamiento Superficial Simple, sin embargo el año siete, cuando se haga la reconstrucción del camino asfáltico, esta solución no sería la más económica debido a la inversión que significa el tratamiento, pero el año siguiente ya sería rentable la inversión hecha.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

En primer lugar, se señalan las conclusiones obtenidas del trabajo experimental y del análisis de costos efectuado. A continuación, se plantean algunas recomendaciones originadas tanto del trabajo realizado como del análisis de la bibliografía consultada, las que pueden permitir una optimización de la aplicación de sal en la estabilización de suelos con Cloruro de Sodio.

Tomando en cuenta lo expuesto en el capítulo anterior, el presente estudio permite señalar algunas conclusiones respecto al comportamiento del suelo estudiado cuando se le agrega cloruro de sodio con miras a producir una estabilización:

1. La estabilización con sal es un excelente matapolvo, su aplicación en la ciudad de Valdivia en la temporada de verano con un suelo granular de 2” de diámetro como máximo tendría un excelente resultado según los resultados de laboratorio, pero con el comienzo de las primeras lluvias tendríamos problemas. Por lo cual las mantenciones del camino serían periódicas, aumentando con esto el costo de construcción, volviéndose más económica la alternativa de estabilizar con un tratamiento Superficial simple en vez de estabilizar con sal, si el plazo de previsión de funcionamiento es superior a 10 años.
2. El estudio económico indica que a mayor cantidad de años más nos conviene la estabilización con un Tratamiento Superficial Simple. En caso que se necesite por un período corto de tiempo, ya sea, por motivos de construcciones futuras en el camino u otros casos, sería económico estabilizar con sal, y en caso de necesitar un estabilizado a largo plazo, es más económico un Tratamiento Simple. Es decir, la elección de la solución para el camino dependerá del uso que se le quiera dar al camino en cuestión .
3. Sin embargo, el número de mantenciones citadas en el punto 5.3 fueron supuestas para la región, colocándose en el peor escenario , debido a las constantes lluvias que elevan el costo de mantenimiento. Además es bueno mencionar que el costo de mantención por corrosión en los vehículos que transitan por este camino (no determinado en el presente trabajo) igual encarecen el costo de construcción.

4. Los ensayos de laboratorio demuestran una notable disminución del índice de plasticidad con la adición del cloruro de sodio, disminuyendo el IP de un 6 del suelo patrón a un IP de 1 con la adición de sal en forma de salmuera y granel , manteniéndose semejantes ambos, y con la adición de 50% granel -50% salmuera la muestra se volvió NP ,lo cual es indudablemente beneficioso para su uso como estabilizador de suelos.
5. La variación en la granulometría de la fracción fina aumento de un 6.9% del suelo patrón a un 12% con la adición del Cloruro de Sodio. Como la sal actúa fundamentalmente con la partículas finas de un estabilizado, este juega un papel mas relevante que la fracción gruesa, esto implica que para esta fracción se acepta una variación granulométrica.
6. Además, el cloruro de sodio produce un efectos positivos sobre la relación humedad – densidad de los suelos. Estos efectos se ven representados bajo dos cambios: una disminución de la humedad óptima y un aumento de la densidad compactada. Ambas de gran utilidad en estabilización. Apreciándose que la DMCS aumenta más con la adición de sal en forma a granel que las restantes dos formas de adicionar la sal, la DMCS del suelo patrón es  $2.160 \text{ kg/m}^3$  aumentando a  $2.270 \text{ kg/m}^3$  en forma granel ( se aprecia en gráfico N° 4.q ) ya que esta se mantiene en forma de grano en la muestra, formándose más predominante en la muestra.
7. Los ensayos de C.B.R. del suelo patrón y de las distintas formas de adicionar la sal, efectuados en este estudio, no permitieron dar un juicio definitivo respecto de la influencia del cloruro de sodio.
8. Sin embargo, con los ensayos de resistencia al corte de los suelos, medida a través de la resistencia a la compresión no confinada, permiten dar un juicio definitivo respecto de la influencia del cloruro de sodio. Aumentando su resistencia de  $1.32 \text{ kg/cm}^2$  del suelo patrón , sin adición de sal, a un  $1.48 \text{ kg/cm}^2$  con adición de sal a la muestra en forma de salmuera
9. La variación de su contenido de humedad de las mezclas de suelo sal diluida (salmuera) mostraron una tendencia a aumentar su humedad con el curado y bajo su resistencia a medida que transcurría el tiempo en la cámara húmeda confirmando que bajo condiciones de humedad su resistencia disminuye ,declinando en el tiempo.

## Recomendaciones

- Es sabido que el cloruro de sodio es bastante soluble en agua. Esto 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 el aumento de la densidad del suelo. Por lo tanto para que llegue bien a todos los lugares es preferible que se adicione en forma de salmuera.
  
- Considerando los antecedente expuestos , más la literatura reunida cabe hacer las siguientes recomendaciones respecto de cómo adicionar la sal en forma de salmuera:
  - Aplicar siempre en salmueras cercanas al punto de saturación, cosa que se podría hacer en temporada de verano, una vez terminadas las precipitaciones. En caso que la humedad de los áridos sea alta aplicar una parte a granel y la diferencia de la dosificación aplicarla en salmuera.
  - En caso que se aplique a granel se debe aplicar previamente la salmuera y posteriormente la sal a granel.
  - A lo mejor como una buen alternativa seria ver como se comporta construir una calle urbana estabilizada con cloruro de sodio y una cubierta con un tratamiento superficial simple para esta zona mas lluviosa.
  - Como en toda faena constructiva, la técnica a emplear debe ser la adecuada, ceñida a normas básicas simples y a una buena tecnología, si se emplean métodos no adecuados los resultados no serán buenos, por lo tanto, las dosificación, la humedad y el apisonado se deben especificar y controlar.

## BIBLIOGRAFÍA

ZAPATA S.,ANDREA. 2004. Análisis de alternativas de estabilizantes de suelo para el camino industrial. Tesis Universidad Austral de Chile, Fac. cien. ing.165p.

ALLENDE.,JUAN.1998. “Estabilización con Sal” .Tesis Programa especial Ingeniero Constructor, Univ. Austral de Chile, Fac. Cien. Ing.11 Pág.

BRIERLEY, NELSON.1982. “Estabilización de carpeta de rodado con sal”. Tesis Ing. Civil, Univ. de Chile, Fac. de Cien. Fis. y matemáticas. 130 Pág.

GORDON SÉLLER, PE et al.,January, 2002. Low-Volume Roads Engineering;  
Best Management Practices Field Guide

DEL VAL, M.A BARDESI,A.,1991. “Manual de Pavimentos Asfálticos para Vías de Baja Intensidad de Trafico”, Madrid, España.

THENOUX, Z .GUILLERMO.et al.2002. “ Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Transito”.

NCh 2505 of 2001.”Estabilización Química de suelos – Caracterización del producto y Metodología de Evaluación de Propiedades de Desempeño del Suelo”. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.

D 2166-00, “Standard Test Method for Unconfined Compressive Strenght of Cohesive Soil”.

TRIVIÑO P. JAIME, 2004 ”Experiencia estabilización con sal XII Región”, Unidad de control de calidad y laboratorio de Vialidad.

ORTIZ MIRANDA, LEONEL,2004 “ Control de laboratorio a caminos tratados con Cloruro de Sodio”.

CORNEJO.F, RAUL.2004.”Estabilización de caminos de grava con sales”.Ing. Civil. Dirección de Vialidad – Atacama. Taller :” Empleo de Sal en Caminos Básicos” realizado en Valdivia los días Jueves 15 y Viernes 16 de Abril.

ARANEDA PAULA CONAMA.,1999. “Diagnostico de Tecnologías de Estabilizadores en Bermas y Paraderos de Tierra”. 22 Pág.

JOBET., LUIS E. “Estabilizadores químicos de suelos”. Revista Obras Públicas; N°12 Año 3;1992 (Jun.-Jul.-Agos.). Pág. 8-11.

SEPÚLVEDA O.,JAVIER. “Desarrollo regional, desarrollo vial y medio ambiente”. Revista Obras Públicas; N° 6 Año 2;1992 (oct.). Pág. 37-38

PINTO M., ALFONSO. et al., “Estabilización con sal en caminos no pavimentados”Revista Obras Públicas; N° 18 Año 5; 1997 (Junio-Julio-Agosto.). Pág. 14-21;49-50

VERGARA LLANOS., HECTOR.”La sal en la viabilidad vial”.Revista Obras Publicas 1998. Pag. 3-6

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS.,SOCIEDAD PUNTA DE LOBOS S.A.”Proyecto piloto .Road SALT en la IX Región. Un estabilizante natural para los caminos de Chile”Revista Obras Públicas; N°21 año 7; 1998 (Junio-Julio-Agosto.). Pág. 4-6.

FAUNE F.,LUIS.”Road Salt una alternativa económica para caminos secundarios”.Revista Obras Públicas; N° 30 Año 9; 2001 (nov. dic.). Pág. 40-45.

THENOUX Z., GUILLERMO. et al.”Estabilización físico-química de suelos para caminos”5° Congreso Internacional “La nueva era del Mantenimiento Vial” ; Noviembre 2000.

ZAMORA AGUAYO, OSVALDO, 2004.”Avance del programa Caminos Básicos 5000. Las obras y las técnicas”,7° Congreso Internacional “Gestión de Mantenimiento de la Infraestructura Vial”; Noviembre 2004.

Laboratorio Nacional de Vialidad, 2004. Curso de capacitación “Nuevas normativas contenidas en los volúmenes N°5 y N° 8 del manual de carreteras”. 18 al 22 de Octubre de 2004

Sociedad Punta de Lobos S.A., “Producto estabilizante NaCl”.Manual informativo y hoja de seguridad.

Sociedad Punta de Lobos S.A.,” Road Salt, Una alternativa para sus proyectos viales”

Especificaciones generales de construcción de carreteras. Disponible en: [http://www.invias.gov.co/info/manuales/Normas/especificaciones\\_construccion/INDICE1.htm](http://www.invias.gov.co/info/manuales/Normas/especificaciones_construccion/INDICE1.htm)



Roadbond; Estabilizador de Carreteras. Disponible en :

<http://www.csstech.com/spanish/sbenefit.htm>

Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en vías terrestres, Secretaria de comunicaciones y transportes, Inst. mexicano del transporte; publicación técnica N° 201

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt201.pdf>

XV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos; 2005 (marzo.)

<http://fing.javeriana.edu.co/xvsimposiopavimentos/noticias01.htm>

Administración de la conservación de los pavimentos. Disponible en:

<http://www2.ing.puc.cl/ric/busquedatitulo.htm#Solución%20de%20Pavimento%20par>

Museo geológico virtual de Venezuela;1997. Disponible en:

<http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/sal.htm>

Bernstein.1961, Martínez ,Raya. 1996, Aceves 1979,. son citados por INÉS GARCÍA Y CARLOS DORRONSORO.2003. en “Contaminación de los suelos”Tema 12 La información ofrecida aquí también puede ser consultada en el servidor:.Tema 12.”Contaminación por sales solubles”. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/manejo.htm>. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España, Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias.

Entrevista Personal Sr. Cristian Solís (2004) ; Jefe Área Geotecnia, LNV, Región Metropolitana.

Entrevista Personal Sr. Jaime Kramm (2004); Jefe Provincial Valdivia, Vialidad

Entrevista Personal Sr. Anastasio Riquelme (2004), Constructor Civil; Vialidad

## ANEXO 1

### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (HDS )<sup>16</sup>

#### 1-IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre del producto	Road Salt
Código del producto	DR 999 V00 granel DR 999 V02 saco de 50 Kg DR 999 V83 maxi sacos
Nombre del Fabricante y Distribuidor	Sociedad Punta De Lobos S.A.
Dirección	Encomenderos 260 piso 6, Santiago
Fono	200 2000
Fax	335 6231
Fono emergencia	200 2000

#### 2.-COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre Químico	Cloruro de Sodio
Fórmula Química	Nacl

#### 3.-IDENTIFICACION DE RIESGOS

Según los datos disponibles para evaluación, no es necesaria una clasificación según las categorías de peligrosidad y reglamentación nacional.

#### 4.- MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto accidental con el producto

Proceder de acuerdo con

Contacto con los ojos	lavar con agua
Ingestión ( grandes cantidades )	consultar al médico si subsiste malestar

<sup>16</sup> Fuente: Sociedad Punta de Lobos S.A.

## **5.-MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

Agentes de extinción	adaptar a los materiales en el contorno
Riesgos especiales	ninguno
Referencias adicionales	incombustible

## **6.-MEDIDAS PARA CONTROL DE DERRAMES O FUGAS**

Procedimiento de recogida	limpieza
	recoger seco
	eliminar los residuos con mucha agua
por barrido	proceder a su eliminación

## **7.-MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO**

Manipulación	evitar contacto con los ojos
Almacenamiento	ambiente cerrado y seco
	evitar humedad
Embalaje recomendado	saco de polipropileno

## **8.-CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCION ESPECIAL**

Protección respiratoria	maskarilla de papel filtro
Protección de las manos	precisa
Protección de los ojos	innecesaria
Medida de higiene particulares	lavado de manos al finalizar el trabajo

## **9.-PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Estado físico	sólido
Color	blanco invierno
Olor	inodoro
Valor ph ( 50g/lit )	5 - 8
Punto de fusión	800 °C
Punto de ebullición	1461 °C

Densidad a 20 °C 1.35 gr / cm<sup>3</sup>

Solubilidad en agua a 20 °C 360 gr / lt

## 10.-COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA

Artículo II. N°	<u>Malla</u>	% Que pasa
3/8		100
4		100-98
8		100 – 85
16		85 – 65
30		65 – 25
40		25 – 10
100		10 – 3
200		5 - 0

## 11.-ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad estable  
Condiciones a evitar humedad  
Incompatibilidad agua

## 12.-INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda dl 50 ( oral, rata ) : 3000 mg / kg  
Informaciones adicionales tras contacto con los ojos : irritaciones  
tras ingestión de grandes cantidades  
náuseas , vómitos  
Información complementaria no deben esperarse efectos tóxicos si la  
manipulación es adecuada

### 13.-INFORMACION ECOLOGICA

Inestabilidad	no
Persistencia/degradabilidad	degradable
Efectos sobre el ambiente	sin observaciones especiales
	Información complementaria
	manejo no deben esperarse problemas ecológicos

### 14.-CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION FINAL

Método de eliminación de residuos	recoger seco
	proceder a su recogida por barrido
	eliminar los residuos con mucha agua
Eliminación de envases	los envases se trataran como residuos domésticos o como materia reciclable

### 15.-INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

Nch 2190 marcas aplicables	sin indicaciones
N° UN	Sin información
N° CAS	7647-14-5

### 16.-NORMAS VIGENTES

Normas internacionales aplicables	clase alemana de polución del agua : 0 compuesto no contaminante del agua
Normas nacionales aplicables seguridad	Nch.2245 : hoja de datos de de productos químicos
	Nch. 382 : sustancias peligrosas terminología y
clasificación	Nch.2190 : sustancias peligrosas Marcas
	Nch.2505 : sustancias peligrosas Marcas

## **17.-OTRAS INFORMACIONES**

Puesto que la hoja de datos de seguridad ( HDS ) es una información de seguridad, no puede tomar en cuenta todas las situaciones posibles de suceder para un lugar de trabajo específico, de tal modo la HDS constituye sólo parte de un programa de prevención de riesgos.

Considerando que el uso de esta información y del producto está fuera del control del proveedor Sociedad Punta de Lobos S.A, no asume responsabilidad alguna por este concepto.

Las condiciones de uso seguro es obligación del usuario.

## ANEXO 2 : RESULTADOS DE LABORATORIO

### GRANULOMETRIA

#### Suelo Patrón :

ASTM	MM	Peso Ret. Grs.	% Ret. Acumul.	% Que Pasa
2"				100
1 ½"	38.1	992	9.06	91
1"	25.4	1453	13.27	78
¾"	19.0	1312	11.98	66
½"	13.0	1661	15.17	51
3/8"	9.51	807	7.37	43
N° 4	4.75	1379	12.60	31
N° 8	2.38	99	6.01	25
N° 10	2.00	22	1.34	23
N° 40	0.42	208	12.63	11
N° 200	0.074	61	3.7	7
Residuo		113	6.86	0

#### Suelo con Sal a granel :

ASTM	MM	Peso Ret. Grs.	% Ret. Acumul.	% Que Pasa
2"				100
1 ½"	38.1	1540	9.6	90
1"	25.4	2476	15.43	75
¾"	19.0	1148	7.15	68
½"	13.0	1924	11.99	56
3/8"	9.51	866	5.40	50
N° 4	4.75	1430	8.91	42
N° 8	2.38	84	6.43	35
N° 10	2.00	16	1.23	34
N° 40	0.42	226	17.31	17
N° 200	0.074	64	4.9	12
Residuo		152	11.64	0

## LIMITES DE CONSISTENCIA

### Suelo Patrón :

DETERMINACIÓN N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
N° DE GOLPES	22	25	29	-	-	-
N° DE CAPSULA	8	9	10	05	11	12
1 MASA CAP.+ MASA HUM.	32.933	32.852	32.590	22.860	23.560	22.519
2 MASA CAP. + MASA SECO	30.10	30.070	29.652	22.444	23.170	22.141
3 MASA CAPSULA	21.193	21.174	21.467	20.862	21.673	20.692
4 MASA AGUA (1-2)	2.833	2.788	2.638	0.412	0.39	0.378
5 MASA MAT. SECO (2-3)	8.907	8.896	8.485	1.582	1.497	1.449
6 % HUMEDAD (4:5) x 100	31.8	31.3	31.09	26.3	26.05	26.09

Limite Liquido (LL)	31 %	Limite Plástico	26 %	Índice Plástico	5 %
------------------------	------	--------------------	------	--------------------	-----

### Suelo con Sal a granel :

DETERMINACIÓN N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
N° DE GOLPES	19	26	30	-	-	-
N° DE CAPSULA	5000	10	3	639	653	12
1 MASA CAP.+ MASA HUM.	35.9914	39.122	31.433	22.406	21.680	21.828
2 MASA CAP. + MASA SECO	33.832	36.025	29.247	22.197	21.518	21.640
3 MASA CAPSULA	21.596	21.478	18.664	21.173	20.689	20.704
4 MASA AGUA (1-2)	2.16	3.097	2.186	0.209	0.162	0.188
5 MASA MAT. SECO (2-3)	12.24	14.55	10.58	1.024	0.829	0.936
6 % HUMEDAD (4:5) x 100	17.65	21.29	20.66	20.41	19.24	20.08

Limite Liquido (LL)	21 %	Limite Plástico	20 %	Índice Plástico	1.0 %
------------------------	------	--------------------	------	--------------------	-------



**Suelo con Sal Diluida : (Salmuera)**

DETERMINACIÓN N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
N° DE GOLPES	23	25	28	-	-	-
N° DE CAPSULA	635	658	653	3	601	4
1 MASA CAP.+ MASA HUM.	29.167	28.580	27.685	22.824	12.378	12.515
2 MASA CAP. + MASA SECO	28.040	27.208	26.520	22.548	12.152	12.304
3 MASA CAPSULA	22.836	20.784	20.692	21.185	11.153	11.322
4 MASA AGUA (1-2)	1.127	1.372	1.165	0.276	0.226	0.211
5 MASA MAT. SECO (2-3)	5.204	6.424	5.828	1.363	0.999	0.982
6 % HUMEDAD (4:5) x 100	21.66	21.36	19.99	20.25	22.62	21.49

Limite Liquido (LL)	22 %	Limite Plástico	21 %	Índice Plástico	1.0 %
------------------------	------	--------------------	------	--------------------	-------

**Suelo con 50% a granel y el otro 50% salmuera :**

DETERMINACIÓN N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
N° DE GOLPES	22	26	27	-	-	-
N° DE CAPSULA	07	04	10	03	09	21
1 MASA CAP.+ MASA HUM.	34.988	32.618	33.952	20.053	22.641	23.293
2 MASA CAP. + MASA SECO	32.647	30.766	32.267	19.790	22.368	22.604
3 MASA CAPSULA	21.489	20.863	21.492	18.667	21.182	20.915
4 MASA AGUA (1-2)	2.318	1.852	1.685	0.263	0.273	0.394
5 MASA MAT. SECO (2-3)	11.153	9.897	10.775	1.123	1.186	1.689
6 % HUMEDAD (4:5) x 100	20.77	18.71	15.64	23.42	23.02	23.33

Limite Liquido (LL)	18 %	Limite Plástico	NP %	Índice Plástico	NP %
------------------------	------	--------------------	------	--------------------	------

## ENSAYO SUELO – RAZON DE SOPORTE C.B.R

### Suelo Patrón sin inmersión :

#### I.- COMPACTACION

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>8</b>	<b>56</b>	<b>7.8</b>	<b>9178</b>	<b>4440</b>	<b>4738</b>	<b>2035</b>	<b>2.328</b>	<b>2.160</b>
<b>22</b>	<b>25</b>	<b>7.8</b>	<b>8968</b>	<b>4406</b>	<b>4562</b>	<b>2075</b>	<b>2.199</b>	<b>2.040</b>
<b>23</b>	<b>10</b>	<b>7.8</b>	<b>9036</b>	<b>4610</b>	<b>4426</b>	<b>2075</b>	<b>2.133</b>	<b>1.979</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>160 %</b>

#### III.- PENETRACION

No MOLDE					<b>8</b>	<b>23</b>	<b>22</b>
No GOLPES					<b>56</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	78	51	67
				TENS.	<b>482</b>	<b>320</b>	<b>415</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	168	110	142
				TENS.	<b>1020</b>	<b>673</b>	<b>864</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	288	178	211
				TENS.	<b>1738</b>	<b>1080</b>	<b>1277</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	361	230	285
				TENS.	<b>2174</b>	<b>1391</b>	<b>1720</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	423	277	332
				TENS.	<b>2545</b>	<b>1672</b>	<b>2001</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	506	316	408
				TENS.	<b>3041</b>	<b>1905</b>	<b>2455</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	563	361	490
				TENS.	<b>3382</b>	<b>2174</b>	<b>2945</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	698	393	561
				TENS.	<b>4189</b>	<b>2365</b>	<b>3370</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL	726	432	585
				TENS.	<b>4357</b>	<b>2599</b>	<b>3514</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL	778	458	630
				TENS.	<b>4668</b>	<b>2754</b>	<b>3783</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL		475	660
				TENS.		<b>2856</b>	<b>3962</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL		506	739
				TENS.		<b>3041</b>	<b>4439</b>

**Suelo Patrón con inmersión :**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>22</b>	<b>56</b>	<b>9.56</b>	<b>9236</b>	<b>4402</b>	<b>4834</b>	<b>2075</b>	<b>2.330</b>	<b>2.13</b>
<b>8</b>	<b>25</b>	<b>9.56</b>	<b>9008</b>	<b>4436</b>	<b>4572</b>	<b>2035</b>	<b>2.247</b>	<b>2.05</b>
<b>23</b>	<b>10</b>	<b>9.56</b>	<b>9082</b>	<b>4606</b>	<b>4476</b>	<b>2075</b>	<b>2.157</b>	<b>1.97</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL <u>95</u> % DE LA D.M.C.S.	<b>125 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>22</b>	<b>8</b>	<b>23</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	18	21	29
				TENS.	<b>123</b>	<b>141</b>	<b>189</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	95	82	50
				TENS.	<b>583</b>	<b>506</b>	<b>314</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	237	170	107
				TENS.	<b>1433</b>	<b>1032</b>	<b>655</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	392	247	142
				TENS.	<b>2359</b>	<b>1492</b>	<b>864</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	510	308	180
				TENS.	<b>3065</b>	<b>1857</b>	<b>1092</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	675	368	212
				TENS.	<b>4052</b>	<b>2216</b>	<b>1283</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	770	449	249
				TENS.	<b>4620</b>	<b>2700</b>	<b>1504</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL		498	275
				TENS.		<b>2993</b>	<b>1660</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL		542	310
				TENS.		<b>3256</b>	<b>1869</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL		582	342
				TENS.		<b>3496</b>	<b>2060</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL		627	370
				TENS.		<b>3765</b>	<b>2228</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL		654	397
				TENS.		<b>3926</b>	<b>2389</b>

**Suelo con Sal a granel sin inmersión :**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>9</b>	<b>56</b>	<b>7.6</b>	<b>9432</b>	<b>4472</b>	<b>4960</b>	<b>2035</b>	<b>2.440</b>	<b>2.27</b>
<b>1</b>	<b>10</b>	<b>7.6</b>	<b>8332</b>	<b>3880</b>	<b>4452</b>	<b>2035</b>	<b>2.19</b>	<b>2.04</b>
<b>37</b>	<b>25</b>	<b>7.6</b>	<b>9286</b>	<b>4562</b>	<b>4724</b>	<b>2075</b>	<b>2.28</b>	<b>2.12</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>113 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>37</b>	<b>1</b>	<b>9</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>25</b>	<b>10</b>	<b>56</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	30	5	12
				TENS.	<b>195</b>	<b>45</b>	<b>87</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	87	18	35
				TENS.	<b>536</b>	<b>123</b>	<b>225</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	146	43	70
				TENS.	<b>888</b>	<b>272</b>	<b>434</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	210	70	108
				TENS.	<b>1271</b>	<b>434</b>	<b>661</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	273	100	162
				TENS.	<b>1648</b>	<b>613</b>	<b>984</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	358	137	229
				TENS.	<b>2156</b>	<b>853</b>	<b>1385</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	454	171	295
				TENS.	<b>2730</b>	<b>1038</b>	<b>1779</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	480	205	370
				TENS.	<b>2886</b>	<b>1241</b>	<b>2228</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL	495	235	416
				TENS.	<b>2976</b>	<b>1421</b>	<b>2503</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL	582	279	448
				TENS.	<b>3496</b>	<b>1684</b>	<b>2694</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL	632	296	522
				TENS.	<b>3795</b>	<b>1785</b>	<b>3137</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL	690	323	620
				TENS.	<b>4141</b>	<b>1947</b>	<b>3723</b>

**Suelo con Sal a granel con inmersión :**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>8</b>	<b>56</b>	<b>7.8</b>	<b>9338</b>	<b>4430</b>	<b>4908</b>	<b>2035</b>	<b>2.412</b>	<b>2.24</b>
<b>22</b>	<b>10</b>	<b>7.8</b>	<b>9044</b>	<b>4400</b>	<b>4644</b>	<b>2075</b>	<b>2.238</b>	<b>2.08</b>
<b>34</b>	<b>25</b>	<b>7.8</b>	<b>9397</b>	<b>4624</b>	<b>4770</b>	<b>2075</b>	<b>2.300</b>	<b>2.13</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>90 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>34</b>	<b>8</b>	<b>22</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>25</b>	<b>56</b>	<b>10</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	18	32	22
				TENS.	<b>123</b>	<b>207</b>	<b>147</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	42	79	49
				TENS.	<b>266</b>	<b>488</b>	<b>308</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	76	150	80
				TENS.	<b>470</b>	<b>912</b>	<b>494</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	110	220	106
				TENS.	<b>673</b>	<b>1331</b>	<b>649</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	143	283	141
				TENS.	<b>870</b>	<b>1708</b>	<b>858</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	189	375	176
				TENS.	<b>1145</b>	<b>2258</b>	<b>1068</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	227	422	203
				TENS.	<b>1373</b>	<b>2539</b>	<b>1229</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	269	481	236
				TENS.	<b>1624</b>	<b>2892</b>	<b>1427</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL	306	540	280
				TENS.	<b>1845</b>	<b>3244</b>	<b>1690</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL	343	629	302
				TENS.	<b>2066</b>	<b>3777</b>	<b>1821</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL	378	726	340
				TENS.	<b>2276</b>	<b>4357</b>	<b>2048</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL	412	784	364
				TENS.	<b>2479</b>	<b>4704</b>	<b>2192</b>

**Suelo con Sal Diluida sin inmersión:**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>26</b>	<b>56</b>	<b>6.65</b>	<b>9496</b>	<b>4624</b>	<b>4872</b>	<b>2075</b>	<b>2.348</b>	<b>2.20</b>
<b>31</b>	<b>25</b>	<b>6.65</b>	<b>9366</b>	<b>4674</b>	<b>4692</b>	<b>2075</b>	<b>2.261</b>	<b>2.12</b>
<b>20</b>	<b>10</b>	<b>6.65</b>	<b>9118</b>	<b>4548</b>	<b>4570</b>	<b>2075</b>	<b>2.202</b>	<b>2.06</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>128 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>31</b>	<b>26</b>	<b>20</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>25</b>	<b>56</b>	<b>10</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	41	65	555
				TENS.	<b>260</b>	<b>404</b>	<b>344</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	110	172	97
				TENS.	<b>673</b>	<b>1044</b>	<b>595</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	188	322	147
				TENS.	<b>1140</b>	<b>1941</b>	<b>894</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	248	440	188
				TENS.	<b>1498</b>	<b>2646</b>	<b>1140</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	295	587	225
				TENS.	<b>1779</b>	<b>3526</b>	<b>1361</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	334	719	262
				TENS.	<b>2013</b>	<b>4315</b>	<b>1582</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	382	800	300
				TENS.	<b>2300</b>	<b>4799</b>	<b>1809</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	425		340
				TENS.	<b>2557</b>		<b>2048</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL	465		364
				TENS.	<b>2796</b>		<b>2192</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL	530		395
				TENS.	<b>3185</b>		<b>2377</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL	581		434
				TENS.	<b>3490</b>		<b>2611</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL	655		450
				TENS.	<b>3932</b>		<b>2706</b>

**Suelo con Sal Diluida con inmersión:**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>26</b>	<b>56</b>	<b>6.74</b>	<b>9506</b>	<b>4630</b>	<b>4876</b>	<b>2075</b>	<b>2.350</b>	<b>2.20</b>
<b>16</b>	<b>25</b>	<b>6.74</b>	<b>9266</b>	<b>4648</b>	<b>4618</b>	<b>2075</b>	<b>2.226</b>	<b>2.09</b>
<b>12</b>	<b>10</b>	<b>6.74</b>	<b>8390</b>	<b>3918</b>	<b>4472</b>	<b>2035</b>	<b>2.200</b>	<b>2.06</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>104 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>26</b>	<b>16</b>	<b>12</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	20	12	21
				TENS.	<b>135</b>	<b>87</b>	<b>141</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	105	40	54
				TENS.	<b>643</b>	<b>254</b>	<b>338</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	211	83	94
				TENS.	<b>1277</b>	<b>512</b>	<b>577</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	317	129	135
				TENS.	<b>1911</b>	<b>787</b>	<b>823</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	451	189	170
				TENS.	<b>2712</b>	<b>1145</b>	<b>1032</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	587	249	203
				TENS.	<b>3526</b>	<b>1504</b>	<b>1229</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	712	321	240
				TENS.	<b>4273</b>	<b>1935</b>	<b>1450</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL		372	272
				TENS.		<b>2240</b>	<b>1642</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL		415	303
				TENS.		<b>2497</b>	<b>1827</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL		454	332
				TENS.		<b>2730</b>	<b>2001</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL		509	363
				TENS.		<b>3059</b>	<b>2186</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL		555	385
				TENS.		<b>3334</b>	<b>2318</b>

**Suelo con 50% a granel y el otro 50% salmuera sin inmersión :**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>37</b>	<b>56</b>	<b>6.5</b>	<b>9468</b>	<b>4566</b>	<b>4902</b>	<b>2075</b>	<b>2.362</b>	<b>2.22</b>
<b>6</b>	<b>10</b>	<b>6.5</b>	<b>8834</b>	<b>4378</b>	<b>4456</b>	<b>2035</b>	<b>2.190</b>	<b>2.06</b>
<b>1</b>	<b>25</b>	<b>6.5</b>	<b>8478</b>	<b>3880</b>	<b>4598</b>	<b>2035</b>	<b>2.260</b>	<b>2.12</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>116 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>37</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>56</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	28	19	19
				TENS.	<b>183</b>	<b>129</b>	<b>129</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	97	43	45
				TENS.	<b>595</b>	<b>272</b>	<b>284</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	195	73	94
				TENS.	<b>1181</b>	<b>452</b>	<b>577</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	302	103	164
				TENS.	<b>1821</b>	<b>631</b>	<b>996</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	422	131	208
				TENS.	<b>2539</b>	<b>799</b>	<b>1259</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	580	167	261
				TENS.	<b>3484</b>	<b>1014</b>	<b>1576</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	685	201	335
				TENS.	<b>4112</b>	<b>1217</b>	<b>2019</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	786	230	388
				TENS.	<b>4713</b>	<b>1391</b>	<b>2336</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL		255	445
				TENS.		<b>1540</b>	<b>2676</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL		283	498
				TENS.		<b>1708</b>	<b>2993</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL		313	548
				TENS.		<b>1887</b>	<b>3292</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL		<b>335</b>	<b>590</b>
				TENS.		2019	3543



**Suelo con 50% a granel y el otro 50% salmuera con inmersión :**

**I.- COMPACTACION**

No Molde	No Golpes	% Hum. Real (1)	Masa Molde + Mat. (g) (2)	Masa Molde Solo (g) (3)	Masa Material (g) (4)=(2-3)	Volumen Molde(dm) (5)	D.C.H. Kg/dm3 (6)= (4:5)	D.C.S. Kg/dm3 6:(1+(1:100))
<b>18</b>	<b>56</b>	<b>7.03</b>	<b>9440</b>	<b>4594</b>	<b>4846</b>	<b>2075</b>	<b>2.335</b>	<b>2.18</b>
<b>31</b>	<b>10</b>	<b>7.03</b>	<b>9292</b>	<b>4672</b>	<b>4620</b>	<b>2075</b>	<b>2.190</b>	<b>2.08</b>
<b>6</b>	<b>25</b>	<b>7.03</b>	<b>9078</b>	<b>4364</b>	<b>4714</b>	<b>2035</b>	<b>2.260</b>	<b>2.17</b>
							C.B.R. PARA 0,2 AL 95 % DE LA D.M.C.S.	<b>66 %</b>

**III.- PENETRACION**

<b>No MOLDE</b>					<b>6</b>	<b>18</b>	<b>31</b>
<b>No GOLPES</b>					<b>25</b>	<b>56</b>	<b>10</b>
No	Seg.	mm.	Pulg.	DIAL/TENS.	LECT. DIAL / TENSION CORR.		
1	30	0,065	0,025	DIAL	45	63	22
				TENS.	<b>284</b>	<b>392</b>	<b>147</b>
2	60	0,125	0,050	DIAL	98	146	45
				TENS.	<b>601</b>	<b>888</b>	<b>284</b>
3	90	0,190	0,075	DIAL	160	253	72
				TENS.	<b>972</b>	<b>1528</b>	<b>446</b>
4	120	0,250	0,100	DIAL	210	336	98
				TENS.	<b>1271</b>	<b>2025</b>	<b>601</b>
5	150	0,310	0,125	DIAL	282	460	122
				TENS.	<b>1702</b>	<b>2766</b>	<b>745</b>
6	180	0,375	0,150	DIAL	339	523	144
				TENS.	<b>2042</b>	<b>3143</b>	<b>876</b>
7	210	0,440	0,175	DIAL	403	628	169
				TENS.	<b>2425</b>	<b>3771</b>	<b>1026</b>
8	240	0,500	0,200	DIAL	454	683	190
				TENS.	<b>2730</b>	<b>4100</b>	<b>1151</b>
9	270	0,565	0,225	DIAL	574	757	214
				TENS.	<b>3448</b>	<b>4542</b>	<b>1295</b>
10	300	0,625	0,250	DIAL	590	800	241
				TENS.	<b>3544</b>	<b>4800</b>	<b>1456</b>
11	330	0,690	0,275	DIAL	655		258
				TENS.	<b>3932</b>		<b>1558</b>
12	360	0,750	0,300	DIAL	675		275
				TENS.	<b>4052</b>		<b>1660</b>

**COMPRESION NO CONFINADA (D 2166)**

OBRA : PROBETAS REMOLDEADAS

MUESTRA : SUELO PATRON

POZO : San Javier

DATOS PROBETA HUMEDAD NATURAL

DIAMETRO CM.			PROMEDIO
SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	diámetro
5,4	5,40	5,4	5,4

ALTURA	
CM.	PULG.
10,8	4,25

22,9022104

DEFORMACION		AREA cm2.	E	1 - E	CARGA Kg.	Compresión Kg/cm2
Pulg.	Anillo	22,9022104				
	0,0001"					
0,0125	16	22,97	0,002941	0,997059	4,78	0,21
0,025	33	23,04	0,005882	0,994118	7,32	0,32
0,0375	62	23,11	0,008824	0,991176	11,64	0,50
0,05	97	23,17	0,011765	0,988235	16,85	0,73
0,0625	131	23,24	0,014706	0,985294	21,92	0,94
0,075	163	23,31	0,017647	0,982353	26,69	1,14
0,0875	181	23,38	0,020588	0,979412	29,37	1,26
0,1	191	23,45	0,023529	0,976471	30,86	1,32
0,1125	179	23,52	0,026471	0,973529	29,07	1,24

**COMPRESION NO CONFINADA (D 2166)**

MUESTRA : **Probeta con salmuera sin curado**

POZO : San Javier

DATOS PROBETA HUMEDAD NATURAL

DIAMETRO CM.			PROMEDIO diámetro
SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	
5,1	5,10	5,1	5,1

ALTURA	
CM.	PULG.
10,2	4,02

20,4282062

DEFORMACION		AREA cm2.	E	1 - E	CARGA Kg.	Compresión Kg/cm2
Pulg.	Anillo					
	0,0001"	20,4282062				
0,0125	21	20,49	0,003109	0,996891	5,53	0,27
0,025	50	20,56	0,006219	0,993781	9,85	0,48
0,0375	84	20,62	0,009328	0,990672	14,92	0,72
0,05	120	20,69	0,012438	0,987562	20,28	0,98
0,0625	151	20,75	0,015547	0,984453	24,90	1,20
0,075	183	20,82	0,018657	0,981343	29,67	1,43
0,0875	192	20,88	0,021766	0,978234	31,01	1,48
0,1	170	20,95	0,024876	0,975124	27,73	1,32
0,1125	141	21,02	0,027985	0,972015	23,41	1,11

**COMPRESION NO CONFINADA (D 2166)**

MUESTRA : **Probeta con salmuera con 2 días de curado**

POZO : San Javier

DATOS PROBETA HUMEDAD OPTIMA

DIAMETRO CM.			PROMEDIO diámetro	ALTURA	
SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR		CM.	PULG.
5,1	5,10	5,1	5,1	10,2	4,02

20,4282062

DEFORMACION		AREA cm2.	E	1 - E	CARGA Kg.	Compresión Kg/cm2
Pulg.	Anillo					
	0,0001"	20,4282062				
0,0125	26	20,49	0,003109	0,996891	6,27	0,31
0,025	60	20,56	0,006219	0,993781	11,34	0,55
0,0375	116	20,62	0,009328	0,990672	19,68	0,95
0,05	154	20,69	0,012438	0,987562	25,35	1,23
0,0625	165	20,75	0,015547	0,984453	26,99	1,30
0,075	152	20,82	0,018657	0,981343	25,05	1,20
0,0875	148	20,88	0,021766	0,978234	24,45	1,17

**COMPRESION NO CONFINADA (D 2166)**

MUESTRA : **Probeta con salmuera con 4 días de curado**

POZO : San Javier

DATOS PROBETA HUMEDAD OPTIMA

DIAMETRO CM.			PROMEDIO diámetro
SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	
5,3	5,30	5,3	5,3

ALTURA	
CM.	PULG.
10,6	4,17

22,0618344

DEFORMACION		AREA cm2.	E	1 - E	CARGA Kg.	Compresión Kg/cm2
Pulg.	Anillo 0,0001"					
		22,0618344				
0,0125	14	22,13	0,002998	0,997002	4,49	0,20
0,025	29	22,19	0,005995	0,994005	6,72	0,30
0,0375	49	22,26	0,008993	0,991007	9,70	0,44
0,05	77	22,33	0,011990	0,988010	13,87	0,62
0,0625	106	22,40	0,014988	0,985012	18,19	0,81
0,075	137	22,47	0,017986	0,982014	22,81	1,02
0,0875	159	22,53	0,020983	0,979017	26,09	1,16
0,1	176	22,60	0,023981	0,976019	28,62	1,27
0,1125	179	22,67	0,026978	0,973022	29,07	1,28
0,125	180	22,74	0,029976	0,970024	29,22	1,28
0,1375	172	22,81	0,032974	0,967026	28,03	1,23
0,15	150	22,89	0,035971	0,964029	24,75	1,08
0,1625	100	22,96	0,038969	0,961031	17,30	0,75

**COMPRESION NO CONFINADA (D 2166)**

MUESTRA : **Probeta con salmuera con 6 días de curado**  
 POZO : San Javier

DATOS PROBETA HUMEDAD OPTIMA

DIAMETRO CM.			PROMEDIO diámetro
SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	
5,4	5,40	5,4	5,4

ALTURA	
CM.	PULG.
10,8	4,25

22,9022104

DEFORMACION		AREA cm2.	E	1 - E	CARGA Kg.	Compresión Kg/cm2
Pulg.	Anillo	22,9022104				
	0,0001"					
0,0125	19	22,97	0,002941	0,997059	5,23	0,23
0,025	54	23,04	0,005882	0,994118	10,45	0,45
0,0375	90	23,11	0,008824	0,991176	15,81	0,68
0,05	130	23,17	0,011765	0,988235	21,77	0,94
0,0625	160	23,24	0,014706	0,985294	26,24	1,13
0,075	180	23,31	0,017647	0,982353	29,22	1,25
0,0875	170	23,38	0,020588	0,979412	27,73	1,19
0,1	147	23,45	0,023529	0,976471	24,30	1,04

## ANEXO 3

### GLOSARIO

- **Arcilla.**- Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.
- **Bache.**- Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.
- **Calamina.**- Ondulaciones de la superficie del camino que tienen su origen en un movimiento plástico de los suelos que la conforman, causadas por las ruedas de los vehículos. El fenómeno puede deberse a varias razones pero, con mayor frecuencia, se produce en capas conformadas por partículas de tamaño relativamente grande ligadas con un suelo fino y sin o con pocos tamaños intermedios, es decir, suelos que tienen una granulometría discontinua.
- **Cohesión (suelo).**- Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.
- **Capacidad de Soporte:** Carga por unidad de superficie que no produce mas que una deformación prevista **para diferentes condiciones de carga.**
- **Clasificación U.S.C.S :** Sistema de clasificación de los suelos cuya siglas significan Sistema de Clasificación Unificada de los suelos.
- **Clasificación A.A.S.H.T.O:** Sistema de clasificación de los suelos cuyas siglas significan American Association of State Highway officials.
- **Comportamiento ante los cambios de humedad:** Capacidad del suelo de soportar variaciones importantes en una o mas de sus propiedades de desempeño, a consecuencia de fenómenos naturales (cambios estacionales) o artificiales ( anegamiento, drenaje u otro).
- **Comparación ante ciclo de hielo-deshielo:** Capacidad del suelo de soportar variación de volumen y presión a consecuencia del cambio de fase del agua contenida en su interior.
- **Estabilización de Suelos:** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

- **Estabilizador de Suelos:** Producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.
- **Estabilización química de los suelos:** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante la incorporación de un compuesto químico.
- **Intercambio iónico:** Es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil.
- **N° UN:** Iniciales correspondientes al Numero de Naciones Unidas, identificador numérico unico, registrado en una base de datos universal, se aplica a productos químicos y a mezclas.
- **N° CAS:** Es un numero de registro único, designado por el Chemical Abstracts Service, se aplica tanto a productos químicos como a mezclas, su uso es universal.
- **Matapolvo.-** Tratamiento que se le da a una capa de rodadura no ligada, con el propósito de estabilizarla y evitar que el transito de vehículos desprenda partículas finas.
- **Material Granular:** Tipo de suelo cuyas partículas son mas gruesas que el material cohesivo y no se pegan entre si.
- **Tratamiento Superficial Asfáltico:** una o mas aplicaciones alternadas de ligante asfáltico y agregado pétreos sobre una base granular. Un Tratamiento superficial doble o triple consiste de 2 o 3 tratamientos aplicados consecutivamente uno sobre otro.
- **Tensión superficial:** Las moléculas de la capa superficial de un liquido no están sujetas a una atracción molecular igual por encima y por debajo de la superficie. Como resultado de esto, se apegan al cuerpo liquido para formar una “piel” muy tirante pero elástica sobre él. Este fenómeno se llama “Tensión superficial”.



**ANEXO 4**

**FORMULARIO 4**

**Resumen Mensual de Costos y Productividad por Operación**

**Región: 10**

**Provincia: VALDIVIA**

**Periodo: Octubre de 2004**

**Baches Superficial Mensual con mezclas Un: m<sup>2</sup>**

**Mano de Obra**

Personal	Horas	Costo hora	Costo sueldo	% de Viático	Valor Viático	Costo Viático	Costo Total
Obrero	123.2	2.302	283.605	740,0 %	22.851	169.097	452.704
inspector	35.2	2.727	95.990	220,0 %	28.157	61.945	157.936
chofer	35.2	2.302	81.030	220,0 %	22.851	50.272	131.303
<b>Total</b>	193,6		460.627			281.315	741.942

**Maquinaria**

Sigla	Maquinaria	Horas Trabaj.	Horas Traslado	Costo Hora	Costo maquina.	Rend.	Litros	Tipo Comb	Costo Litro	Costo Combst	Costo total
CPF0286	Camión plano	6,0	0,0	4.547	27.282	3,60	62,22	P	289	17.982	45.264
<b>Total</b>		6,0	0,0		27.282		62,22			17.982	45.264

**Material**

Código	Material	Unidad	Cantodad	Precio \$	Costo Material
ASFA09	Asfalto Instantáneo permapatch	KGS	8.700,0	83	722.100
<b>Total</b>					722.100

Producción	: 144,0 m <sup>2</sup>	Costo Total (\$): 1.509.306	Costo Unit.: 10.481
Horas Mano de Obra:	193.6	Prod. H- Dia: 6,5	Prod. H-Dia: 5
		(catalogo)	Fact. Prod: 1.312

## ANEXO 5

### Impactos sobre el ambiente de caminos tratados con sal<sup>17</sup>

Los efectos de la sal del camino sobre el ambiente pueden ser significativos, pero depender de una amplia variedad de factores únicos a cada sitio. Los impactos registrados por la sal hablan de daños a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial, agua potable y estructura de los vehículos por corrosión.

• **Vegetación:** La vegetación del borde del camino como hierba, arbustos u árboles son perjudicados por la sal, por los siguientes medios de contacto:

#### (a) Medio terrestre:

La sal es absorbida por las raíces a través del agua de suelo.

#### (b) 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.

En general, el cloruro (Cl), con respecto al sodio (Na) es más dañino ante los efectos que provoca a la vegetación, ya que el cloruro una vez absorbido por las raíces, se acumula en los tejidos del vegetal durante un período largo de tiempo, provocándole un estrés hídrico o deshidratación y consigo efectos similares a los que sufriría un vegetal en una sequía típica, es decir inhibición del crecimiento general, hojas y coloración decadente, ramas agonizantes, hojas quemadas y con manchas, y muerte prematura de la planta. En tanto el impacto del sodio sobre la vegetación es menos directo, ya que las altas concentraciones de sodio afectan primordialmente las propiedades físicas del suelo, y esto a su vez, genera una incidencia negativa en el crecimiento del vegetal. 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.

---

<sup>17</sup> Fuente: Zapata (2004)

La vegetación mayormente afectada por caminos tratados con sal es aquella que crece a su orilla, debido a que está más expuesta a entrar en contacto con la sal.

Los arbustos de borde del camino, las hierbas, y la vegetación de pantano son generalmente más tolerante a la sal que los árboles frutales o forestales.

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.

- **Suelo:**

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 90mg/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. El cloruro se mueve por el suelo más rápido que el sodio. Los iones de cloruro cargados negativamente (CP) son repelidos por la arcilla cargada de modo similar y otras partículas de suelo. Los iones de sodio, que generan cargas positivas ( $\text{Na}^+$ ), experimentan el cambio de ion con otros iones positivos presentes en las partículas de suelo, causando la retención de porcentajes más altos del sodio en el suelo, sobre todo si la infiltración es lenta. 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.

Sin embargo, si la sal tiene un efecto acumulativo depende de condiciones locales, como tipo de suelo, precipitación, y topografía.

El cloruro en comparación con el sodio generalmente es considerado menos perjudicial para suelo. En tanto la incidencia del cloruro en el suelo, radica en que contribuye a la movilización (al agua subterránea) de algunos metales pesados (considerados tóxicos bajo determinadas concentraciones), como cadmio, zinc, y plomo.

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.

• **Fauna:**

Un mínimo de fauna tiene una necesidad de la sal en sus dietas. Estos animales son a menudo atraídos al borde del camino donde hay una concentración alta de sal de primavera. La presencia de fauna cerca de carreteras es siempre un riesgo potencial y uno del cual el público conductor debe ser consciente.

El daño a la vegetación causado por la sal, 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.

• **Agua Superficial:**

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 recepciona, 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.

Según los estándares de Agencia de Protección de Medio Ambiente (Criterios de Calidad Nacionales Ambientales de Agua), los niveles de cloruro entre 230 y 860 mg/lit en un medio acuífero, pueden dañar la vida acuática existente.

- **Agua potable:**

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. 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.

- **El vehículo y la Corrosión Estructural:**

Los efectos secundarios principales de los caminos estabilizados y mantenidos con sal, es el daño a los automóviles y su infraestructura. La sal daña automóviles e infraestructura principalmente debido a sus efectos corrosivos sobre metales. Los iones de cloruro en la sal interrumpen películas naturales protectoras sobre superficies metálicas y aumentan la conductividad del agua, que induce y acelera la corrosión. Incluso relativamente las pequeñas cantidades del cloruro acelerarán considerablemente la corrosión existente.

El daño de corrosión a automóviles puede ser separado en a tres categorías: funcional, estructural, y estético. El daño estructural afecta la integridad de las piezas que conforman el vehículo (ejemplos corrosión de marco y forros del freno, sistemas de apoyo de parachoques, etc.). La corrosión estética afecta sólo el aspecto del vehículo (ejemplo: manchas en paneles de cuerpo pintados, decoloración, picaduras de metales, etc.).