

---

## USO DE CLORURO DE SODIO EN BASES GRANULARES

---

### USE OF SODIUM CHLORIDE IN GRANULAR BASES

*Fecha de Recepción: 28 de abril de 2006*  
*Fecha de Aprobación: 30 de julio de 2006*

Oscar Javier Reyes Ortiz<sup>1</sup>  
Javier Fernando Camacho Tauta<sup>2</sup>  
Juan Ricardo Troncoso Rivera<sup>3</sup>

---

### RESUMEN

*El propósito de esta investigación realizada por la Universidad Militar Nueva Granada, fue determinar el efecto en las propiedades mecánicas que tiene introducir NaCl industrial en bases granulares con granulometría del Instituto Nacional de Vías – INVIALAS. La incidencia en las propiedades de la base granular se determinaron a partir de los ensayos de CBR, compresión simple y compresión diametral. La investigación inicia con la caracterización del material granular y el NaCl, posteriormente con la determinación de la humedad óptima mediante el ensayo proctor modificado para el material en estado virgen y con adición de NaCl, y finaliza con la ejecución de los ensayos mecánicos de las muestras modificadas y vírgenes.*

*Dentro de los resultados obtenidos se determinó un incremento de la resistencia (CBR) de 9 veces para una adición del 15% de NaCl; un aumento en la resistencia a la compresión de 100% para el porcentaje de 8% de NaCl y un descenso de la resistencia a tracción para todos los porcentajes de adición.*

**Palabras Claves:** NaCl, base granular, CBR, compresión simple y Compresión Diametral.

### ABSTRACT

*The purpose of this work is to study the mechanical properties of granular bases added with NaCl. After conventional characterization tests, including Atterberg limits and grain size distribution, compaction tests were carried out to find optimal water contents and maximum dry densities. Finally, by use of mechanical tests such as CBR, non-confined compression and diametral compression tests, strength differences between natural and modified specimens were obtained, which permit analyse the usefulness of this treatment.*

*The value of CBR increases nine times with 15% of NaCl; there is an increment of 100% in the compressive strength when 8% of NaCl is added. Traction strength decreases in all modified specimens.*

**Keywords:** NaCl, granular base, CBR, axial compression, diametral compression

---

<sup>1</sup> Ing. Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Estudiante de Doctorado Universidad Politécnica de Cataluña. oreyes@umng.edu.co

<sup>2</sup> Ing. Civil, MSc. Profesor Asistente Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Estudiante de Doctorado Universidad Técnica de Lisboa. jcamacho@umng.edu.co

<sup>3</sup> Ing. Civil, Esp. Profesor Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Jefe Área Geotecnia. juan.troncoso@umng.edu.co

## I. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de pavimento están constituidas por múltiples capas horizontales de diferentes propiedades mecánicas, iniciando por la carpeta de rodadura, seguida por capas granulares y finalizando en el terreno natural. Una de las funciones de estas capas, son las de absorber los esfuerzos producidos por el flujo vehicular y transmitirlos al terreno natural, para lo cual las condiciones de compactación y material que las constituyen deben cumplir unos requerimientos, que en oportunidades no se cumplen en estado natural y es necesario adicionar algún elemento industrial o tener un proceso constructivo diferente para satisfacer los requerimientos mínimos estipulados por la normatividad. Una de esas alternativas es adicionar productos químicos industrializados como cemento, cal y aceites sulfonados que generan enlaces entre las partículas que constituyen los granulares, haciendo que se incrementen las resistencias, se disminuyan las deformaciones y se establezca en ocasiones los materiales para evitar posibles expansiones y por ende daños prematuros en las vías.

El cloruro de sodio está formado por cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales tienen la propiedad de atraer y mantener el agua líquida o en vapor, y se pueden obtener en el mercado tamaños grandes de cristales o polvo fino y de diferente tamaño de pureza (Garnica, 2002), esta característica hace que el cloruro de sodio pueda servir como enlace entre las partículas que constituyen la base o subbase granular.

El precio y la obtención del cloruro de sodio es económico, siendo un producto químico potencialmente para utilizar en la estabilización y mejo-

ra de las propiedades de las sub-bases granulares, especialmente en zonas del país donde existan minas de sal o limiten con el océano.

## II. MARCO TEORICO

El cloruro de sodio (NaCl) se obtiene por tres métodos diferentes, el primero mediante la utilización de los rayos solares, que consiste en colocar agua salada (agua de mar) en lugares donde la energía del sol evapora el agua y el resultado son residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción de minas de sal que existen en el país y el tercero mediante la utilización de hornos industrializados que evaporan el agua del océano y recopilan los residuos que son convertidos en sal. (Loaiza, 1982).

El NaCl (Cloruro de Sodio) se ha utilizado en diferentes investigaciones para determinar su incidencia en las propiedades mecánicas de bases granulares, especialmente para evitar el efecto de la evaporación del agua y reducir la temperatura de congelamiento, teniéndose resultados satisfactorios debido a que controla los cambios de humedad en las capas granulares, generado incrementos en la resistencia o haciéndolos constantes (Garnica, 2002).

Algunos autores (Pérez et al, 2002) manifiestan que la adición de sales al material granular y a las arcillas crea disminución en su contracción volumétrica, que sumado a la formación de microcapas de sal y la reducción de la variación de la humedad, mantienen más unidas las partículas, siendo éstas menos susceptibles a la abrasión del tráfico y al desgaste.

El Departamento de Transporte de Minnesota

en su publicación las mejores prácticas de diseño y construcción de vías de bajo volumen (Departamento de Transporte de Minnesota, 2003) manifiesta que investigaciones realizadas con NaCl determinaron que pasados cinco años de construida la obra, los niveles de cloruro de sodio presentes era mínimos, razón por la cual la estabilización o mejora de la capa granular se pierde con el tiempo y por ende solo es recomendado su uso en vías secundarias o de bajo nivel de tráfico.

Otras experiencias internacionales del uso de NaCl están en México, Bajo California, donde se construyeron terraplenes en las salinas de Guerrero Negro, los cuales fueron contruidos y compactados con arena y agua de mar. El funcionamiento de la obra ha sido satisfactorio y se debe especialmente a la condición salina constante. Sin embargo, otro empleo en México fue en las aeropistas de Loreto e Islas Marías con la compactación de bases y tratamientos superficiales, cuyos resultados han sido deficientes, generando desprendimientos en la estructura y fallos significativos. (Pérez, 2002).

En Colombia, el antiguo MOPT (Ministerio de Obras Públicas y de Transportes) realizó un estudio en Manaure (Guajira) para determinar el empleo de sal en suelos de baja compresibilidad. Los resultados obtenidos fueron que la sal no afectaba los límites de atterberg, que la humedad de compactación se incrementaba y que la densidad y resistencia a la compresión disminuye. (Montejo, 1998).

### III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de está investigación, se determinó trabajar con material granular que se utiliza para la construcción de vías en la ciudad de Bogotá, precisamente de la cantera “El Vino”, ubicada al noroccidente de la ciudad y cloruro de sodio de la mina de Zipaquira. La primera etapa realizada consistió en la caracterización física y mecánica del granular mediante los ensayos de desgaste en la máquina de los Ángeles, el ensayo de solidez, índices de plasticidad, granulometría, densidad, proctor modificado y CBR entre otros. Se prosiguió con la caracterización y determinación del porcentaje de reemplazo de cloruro de sodio por material granular y como parte final se realizaron ensayos de proctor modificado, CBR, compresión simple y diametral con material virgen y modificado con sal a diferentes porcentajes para determinar el efecto en sus propiedades mecánicas. Se definió para el estudio la curva media granulométrica BG-1 para bases granulares del Instituto Nacional de Vías, que aparece en la Figura 1 y Tabla 1. La sal fue introducida en la mezcla diluida con el agua.

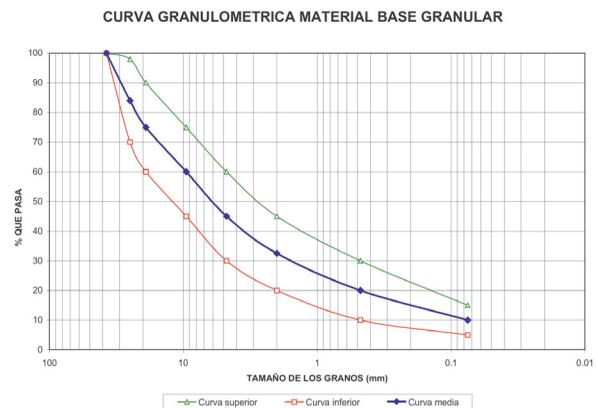


Figura 1. Curva granulométrica de la base granular

Tabla 1. Porcentajes que pasan por peso en los tamices

Abertura Tamiz (mm)	Superior	Inferior	Media
37.5	100	100	100
25.0	70	98	84
19.0	60	90	75
9.5	45	75	60
4.75	30	60	45
2.0	20	45	32.5
0.475	10	30	20
0.075	5	15	10

En la Figura 2 se muestra en diagrama la metodología empleada.

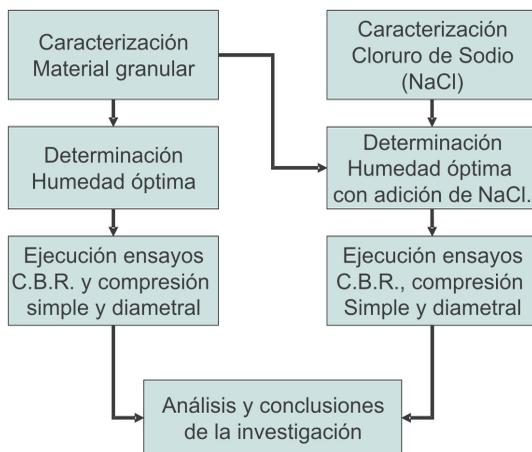


Figura 2. Diagrama metodología de la investigación

### A. Caracterización del Material Granular

Para determinar las propiedades y caracterizar el material granular, se ejecutaron los ensayos de la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades material granular

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Materia Organica	I.N.V. E-121	0.6 %
Desgaste máquina Los Angeles	ASTM C 131-81	28%
Equivalente de arena	ASTM D 2419	23%
Indice de plasticidad	ASTM D 4318-84	3%

### B. Características del Cloruro de Sodio

La curva granulométrica del cloruro de sodio es la que aparece en la Figura 3 y Tabla 3 y su densidad es 2.17 g/cm<sup>3</sup>.



Figura 3. Curva granulométrica del Cloruro de Sodio

Abertura Tamiz (mm)	% pasa
2.0	98.9
0.85	86.7
0.42	47.9
0.25	26.5
0.15	12.6
0.0750	2.1

Tabla 3. % pasa tamiz del Cloruro de Sodio

### C. Determinación de la Humedad Óptima del Material Granular Virgen

Para determinar la humedad óptima y densidad seca máxima del material granular, se inicio con la determinación de la humedad natural, la cual fue de 2 %. Acto seguido se incremento el contenido de agua hasta obtener el porcentaje óptimo de agua y la densidad seca máxima.

## D. Determinación de la Humedad Óptima Reemplazado Granular por Cloruro de Sodio

Para obtener la humedad óptima y densidad seca máxima del material modificado, se inició determinando los porcentajes de reemplazo de granular por cloruro de sodio a utilizar, los cuales fueron 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% y 15%. Con los resultados de humedad óptima, humedad natural y densidad seca máxima alcanzados para el material virgen, se inició el reemplazo de granular por cloruro de sodio. La adición de cloruro de sodio se realizó mediante la disolución en agua.

## E. Resistencia Mediante el Ensayo de CBR

Una vez determinado el porcentaje óptimo de humedad para el material en estado natural y con adición de cloruro de sodio, se construyeron las muestras de CBR a los tres niveles de energía de compactación y con la humedad determinada en los ensayos de proctor modificado. Las muestras se dejaron en cámara húmeda durante tres días.

## F. Resistencia Mediante el Ensayo de Compresión Simple

Con los resultados de humedad óptima del material virgen y modificado, y la densidad seca máxima, se construyeron cilindros de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de alto, con las mismas características para cada uno de los porcentajes de reemplazo de cloruro de sodio por material granular. Luego de tres días de curado en cuarto húmedo, se fallaron a compresión simple.

## G. Resistencia Mediante el Ensayo de Compresión Diametral

Las muestras de compresión diametral se construyeron de igual forma que las de compresión simple, con la humedad óptima y densidad seca máxima determinada y con tres días en cuarto húmedo. Posterior al curado, se fallaron a compresión diametral o ensayo brasilero.

## IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Como aparece en la Figura 4, la humedad óptima determinada para el material granular en estado virgen fue del 7% y se determinó una densidad seca máxima de 2.196 t/m<sup>3</sup>.

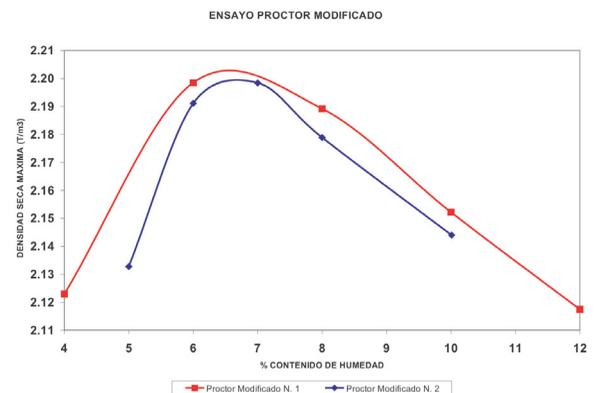


Figura 4. Determinación humedad óptima y densidad seca máxima material virgen

Los resultados obtenidos para densidad seca máxima y humedad óptima de compactación con adición de cloruro de sodio aparecen en las Figuras 5 y 6 y Tabla 4. Se resalta que en la medida que se aumenta el contenido de cloruro de sodio como reemplazo de material granular, la humedad óptima de compactación disminuye, alcanzando un valor mínimo del 4.8 para el 15%

de reemplazo. Con respecto a la densidad seca máxima para los diferentes niveles de adición de cloruro de sodio la variación es mínima, presentándose un comportamiento homogéneo (Figura 6).

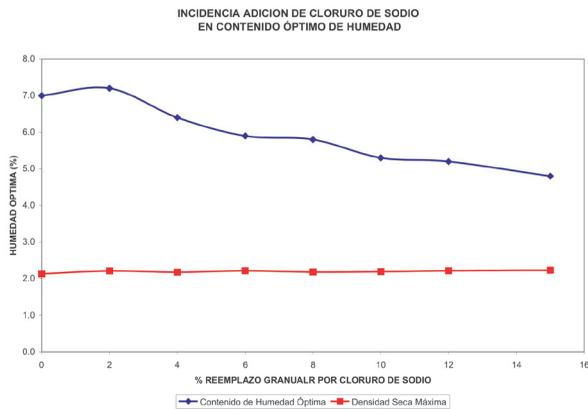


Figura N. 5 Porcentajes óptimos de humedad con adición de cloruro de sodio

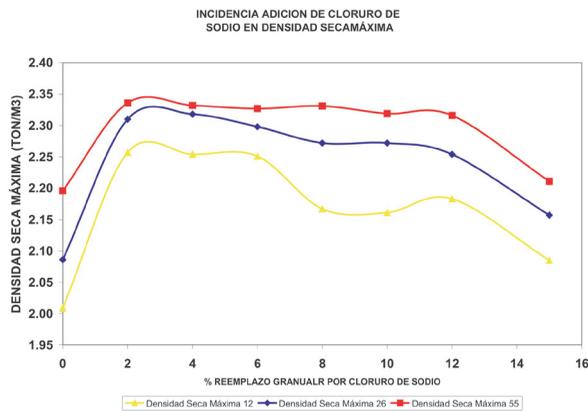


Figura 6. Incidencia de la Densidad seca máxima con respecto al contenido de cloruro de sodio

Tabla 4. Densidad seca máxima y humedad óptima material con adición de NaCl

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

Los resultados obtenidos de resistencia (Ensayo CBR) de las muestras ensayadas con adición de cloruro de sodio, se muestran en la Tabla 5 y la Figura 7. Se observa que para el nivel de compactación de 55 golpes (Mayor energía) el cambio de la resistencia en función de la adición de cloruro de sodio no es el más significativo, presentándose un valor máximo de 88.6 para una adición del 8% de cloruro de sodio y un incremento porcentual con respecto al material virgen del 23%. Para la energía de compactación media (26 golpes), la tendencia es que a medida que se adiciona cloruro de sodio, la resistencia aumenta, obteniéndose un valor máximo de 82.85% y un incremento porcentual del 100%. El mejor comportamiento se observó en los resultados de la menor energía de compactación (12 golpes), el cual para los porcentajes mayores (12 y 15%) de adición de cloruro de sodio, superó su resistencia a los obtenidos con la misma modificación, pero mayores energías de compactación (26 y 55 golpes). La resistencia para las muestras con adición del 12 y 15 % de cloruro de sodio y 12 golpes se incremento en 7 y 9 veces respectivamente.

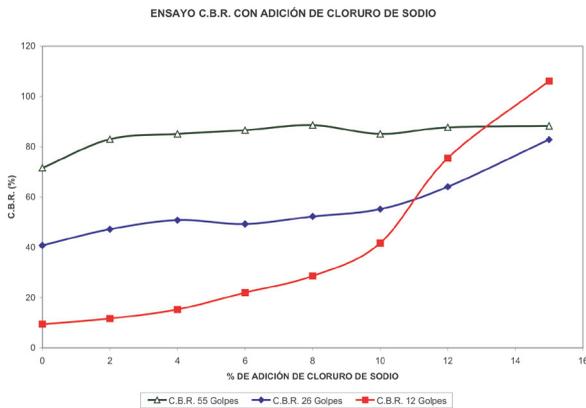


Figura 7. Grafico de Resistencia (CBR) con respecto a la adición de cloruro de sodio

Tabla 5. Resultados CBR con respecto adición cloruro de sodio

RESULTADOS C.B.R. CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO			
% NaCl	ENERGIA COMPACTACIÓN		
	12 Golpes	26 Golpes	55 Golpes
0.0	9.42	40.80	71.60
2.0	11.70	47.20	83.00
4.0	15.30	50.80	85.10
6.0	21.99	49.30	86.60
8.0	28.61	52.29	88.60
10.0	41.70	55.20	85.10
12.0	75.48	64.08	87.70
15.0	106.15	82.85	88.30

Los resultados de los ensayos de compresión simple sobre los cilindros ensayados, aparecen en la Figura 8 y Tabla 6. Los cilindros fueron construidos con la misma densidad seca máxima obtenida de los ensayos de proctor modificado y curados durante tres días antes de ser ensayados. De los resultados se resalta que para el nivel de energía de 12 golpes, la resistencia en todas las adiciones de cloruro de sodio disminuyo, mientras para el nivel de energía mayor (55 golpes), para un porcentaje del 8%, se determinó un valor máximo de 481 KPa y un incremento de su

resistencia con respecto al material virgen del 96%. Es importante resaltar que para los porcentajes comprendidos entre 2 y 8%, la resistencia a la compresión se incrementa.

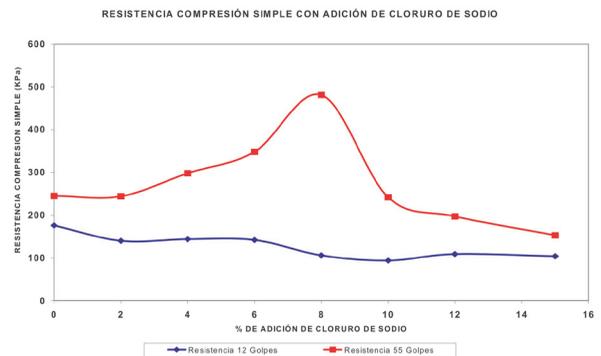


Figura 8. Resistencia compresión simple cilindros con adición de cloruro de sodio

Tabla 6. Resultados resistencia compresión simple

RESULTADOS RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO (Kpa)		
% NaCl	ENERGIA COMPACTACIÓN	
	12 Golpes	55 Golpes
0.0	176.00	245.00
2.0	140.00	244.00
4.0	144.00	298.00
6.0	142.00	348.00
8.0	106.00	481.00
10.0	94.00	242.00
12.0	109.00	197.00
15.0	104.00	153.00

Por último, se elaboraron cilindros para ser ensayados a compresión diametral o ensayo brasilero, los cuales fueron construidos con la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de proctor modificado y curados por tres días. En la Figura 9 y Tabla 7 se observan los resultados. De los resultados se puede concluir que para todos los porcentajes de adición de cloruro de sodio, la resistencia desciende.



Figura 9. Resistencia compresión diametral con adición de cloruro de sodio

Tabla 7. Resultados ensayos compresión diametral con adición cloruro de sodio

RESULTADOS RESISTENCIA DIAMETRAL CON ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO (Kpa)	
% NaCl	55 Golpes
0.0	9.70
2.0	2.40
4.0	1.80
6.0	1.50
8.0	1.70
10.0	1.90
12.0	1.95
15.0	1.25

## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de adicionar cloruro de sodio al material granular empleado en la construcción de bases granulares, con los ensayos de CBR, compresión simple, compresión diametral y proctor modificado se puede concluir:

- Que en la medida que se adicione mayor porcentaje de cloruro de sodio al material granular, la humedad óptima disminuye y la densidad seca máxima no presenta cambios significativos

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

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al programa Jóvenes Investigadores de la Universidad Militar Nueva Granada por medio de la OPS No. 0773 de 2006, al Grupo de Investigación Geotecnia de la Universidad Militar Nueva Granada y a los Ingenieros Andres Nieto Leal, Martha Altuzarra y Edgar Aldana.

## VII. REFERENCIAS

[1] Altuzarra, M. et al. 2003. Efecto de la sal en bases granulares. Universidad Militar Nueva Granada. p. 167.

[2] Departamento de Transporte de Minnesota. 2003. las mejores practicas de diseño y construcción de vías de bajo volumen. Minnesota, USA. Editorial Departamento de Transporte de Minnesota. p. 98.

[3] Fernández, C. 1982. Mejoramiento y estabilización de suelos. México. Editorial Limusa. p. 347.

[4] Garnica, P. et al. 2002. Mecánica de materiales para pavimentos. Publicación técnica N. 197, Santafandila, México. Editorial Instituto Mexicano del transporte. P. 145.

[5] INVIAS. 1998. Normas técnicas de ensayos para carreteras. Bogotá. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

[6] Montejó, A. 1998. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá. Editorial impreandes-presencia. P. 733.

[7] Nájera, A. 2001. Notas técnicas del laboratorio de geotecnia. Bogotá. Editorial Centro de Investigaciones geotécnicas. p.25

[8] Pérez, A. et al. 2002. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en vías terrestres. Publicación Técnica N. 201, Santafandila, México. Editorial Instituto Mexicano del transporte. p 176.

[9] Reyes, O et al. 2004. Uso de NaCl para mejorar las propiedades mecánicas de bases y sub-bases granulares. II Jornadas de Ingeniería Civil. Santiago de Cuba, Cuba. Ediciones Obras. p 1-13.