

DISEÑO Y APLICACIÓN EXPERIMENTAL DE SOLUCIONES SALINAS ANTI-HIELO CON ADITIVOS RESIDUALES DE ORIGEN ORGÁNICO

Palabras clave: Mantenimiento invernal – técnicas anti-hielo – equipos de medición - soluciones salinas.

Autores:

Jorge Segundo MATURANO

Rosa Carolina AGUILERA SORAIRE

Marcelo Gastón BUSTOS

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan

Dirección postal: Av. Libertador 1109 (Oeste). C.P. 5400, San Juan, Argentina

Teléfono: 54-264-4272439

Correo electrónico de contacto: jmatur@eicam.unsj.edu.ar

Resumen

En Argentina, la Dirección Nacional de Vialidad ha llevado a cabo estudios orientados a mejorar algunas técnicas pro-activas de mantenimiento invernal, que emplean sales disueltas en solución acuosa para mantener los pavimentos sin hielo en superficie. Estas investigaciones indicaron que al incorporar en las soluciones algunos productos orgánicos residuales derivados de la industria alimenticia, se consigue incrementar la duración de los fundentes sobre la calzada.

Para ampliar el alcance de dichos estudios, la Universidad Nacional de San Juan llevó a cabo investigaciones adicionales que permitieron desarrollar y calibrar una metodología de medición para determinar de forma expeditiva, segura y económica, la concentración de fundente químico residual sobre la calzada. A tal efecto se construyó y adaptó un aparato específico para medir la conductividad eléctrica del residuo salino

remanente sobre el pavimento, habiendo comprobado estadísticamente que hay una alta correlación entre conductividad y contenido total de sales existente en el residuo. Asimismo, se efectuaron campañas de mediciones en terreno utilizando diferentes diseños de soluciones conformadas por proporciones variables de compuestos salinos y productos orgánicos, para evaluar la permanencia del residuo salino a través del tiempo en condiciones de tránsito real. Se pudo verificar que el agregado de productos orgánicos a las soluciones salinas incrementa la duración del residuo sobre la calzada, ratificando los resultados de las investigaciones previas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Principales antecedentes y definición del problema evaluado

En las últimas décadas, el mantenimiento invernal destinado a posibilitar el tránsito de vehículos sobre carreteras en zonas con nieve o hielo han experimentado un notable desarrollo, tendiendo a adoptar enfoques pro-activos, mediante los cuales se prioriza la actuación previa a la ocurrencia de las nevadas, o a la adherencia del hielo a la superficie de la carpeta de pavimento, mediante el esparcimiento de productos salinos o el riego de soluciones. Dichos productos contribuyen a bajar el punto de fusión del agua existente sobre la calzada a temperaturas inferiores a los 0 °C, retardando por consiguiente el congelamiento del agua superficial, manteniendo el pavimento “negro”, es decir húmedo superficialmente y libre de hielo, brindando de esa forma una mayor seguridad al tránsito que circula sobre estos caminos.

Estas técnicas, denominadas “anti-icing” (anti-hielo), requieren que los productos químicos que se esparcen sobre la calzada ante la inminencia de nevadas o congelamientos, permanezcan sobre el pavimento tanto tiempo como sea posible y que el tránsito no los elimine fácilmente, a fin de que estén presentes cuando efectivamente se requiera su acción anticongelante.

Para que la técnica tenga éxito, es fundamental una buena elección de los materiales químicos a utilizar. Habitualmente se utiliza sal común (Cloruro de Sodio, NaCl), pero también pueden utilizarse otros fundentes salinos tales como el cloruro de magnesio (Cl_2Mg) o de Calcio (Cl_2Ca), cuyas soluciones acuosas tienen puntos de congelamiento inferiores a la salmuera de NaCl y por lo tanto pueden ser usados en condiciones climáticas adversas, pero son más costosos que la sal común. Por eso en ocasiones se aplican soluciones combinando estos productos en diferentes proporciones.

Esto ha sido corroborado en estudios realizados tanto en Estados Unidos como en Chile (FHWA, 1996; Nixon, 2008).

Sea cual fuere la solución utilizada, las aplicaciones frecuentes aseguran que la adherencia de la nieve o hielo al pavimento no reaparezca durante un determinado lapso, asegurando buenas condiciones de circulación durante más tiempo.

Para que estas soluciones tengan alta eficacia, también es importante contar con pronósticos meteorológicos confiables, equipo adecuado para aplicar rápidamente y de manera homogénea los productos sobre la calzada, y un personal suficientemente

capacitado y entrenado para responder apropiadamente cuando sea requerida su intervención.

No obstante, estas prácticas también presentan algunos inconvenientes, ya que generan una gran demanda de sales durante los operativos invernales, ocasionando significativos daños en instalaciones y equipos en el mediano y largo plazo, a causa de la corrosión que dichas sales provocan. Otro aspecto negativo es el tema ecológico, por los problemas que estos productos químicos pueden provocar alrededor del ecosistema que atraviesa la carretera, si no se los estudia y controla adecuadamente.

Por esta razón, a nivel mundial se están utilizando aditivos orgánicos como agregados en la formulación de soluciones salinas, para bajar el consumo de sal, lo cual constituye la principal problemática abordada dentro del presente trabajo.

En nuestro país, estas investigaciones aún se encuentran en una etapa relativamente incipiente, pero ya se han llevado a cabo algunos estudios que fueron considerados como antecedentes de gran importancia para la formulación y el desarrollo de esta investigación.

Contando con el asesoramiento de la Universidad Nacional de Cuyo, el personal del 4º Distrito Mendoza de la DNV realizó una serie de trabajos en terreno utilizando diferentes aditivos disueltos en las salmueras de cloruro de sodio que se aplicaban sobre el pavimento como parte de las técnicas anti-hielo. Estos trabajos permitieron concluir, en primera instancia, que al agregar fertilizantes provenientes de la industrialización de la caña de azúcar, se obtenían los mejores resultados en cuanto a prolongar la permanencia del residuo salino sobre la calzada.

Las limitaciones principales de este trabajo radicarón en no haber desarrollado ningún tipo de análisis orientado a la caracterización físico-química de los productos orgánicos utilizados en los sucesivos experimentos, que permitan dar algún fundamento teórico a las condiciones de adherencia entre residuo y pavimento bajo presencia de aditivos orgánicos ("vinazas") en las mezclas originales, más allá de los resultados empíricamente obtenidos. Por otro lado, existen otros productos orgánicos que también pueden evaluarse y otras sales además del NaCl que también pueden emplearse para tratamientos anti-hielo (cloruros de calcio o de magnesio).

Finalmente, resultó evidente que también era necesario mejorar y hacer más eficiente la metodología empleada para la medición del residuo salino en terreno. Los procedimientos de medición en campaña aplicados en los trabajos realizados por el 4º Distrito Mendoza de la DNV, consistieron en aislar porciones de superficie de calzada

mediante trozos de tubos de PVC que se pegaban momentáneamente al pavimento, dejando en su interior un área estanca dentro de la cual se inyectaba agua destilada y se revolvía por unos segundos, para remover el residuo salino previamente regado sobre el pavimento. Luego se tomaba una muestra del líquido del interior del tubo y se le realizaba la determinación de sales totales por espectrofotometría.

Si bien permite obtener resultados muy precisos, este procedimiento resultaba lento y engorroso y requiere enviar las muestras a laboratorio, ya que no permite conocer los resultados de forma inmediata, lo cual imposibilita su uso en situaciones reales de eventos climatológicos que requieran decisiones rápidas y eficientes. Además implica montar un operativo de seguridad con corte total o parcial del tránsito mientras se preparan y toman las muestras, dado que en el procedimiento empleado en los trabajos desarrollados por el 4º Distrito de la DNV, la toma de muestras es lenta y requiere de un control de tránsito exhaustivo, impidiendo la circulación o requiriendo de un sistema específico de control de tránsito durante las mediciones.

Todo lo anterior, llevó a la necesidad de plantear una nueva etapa de investigaciones sobre la problemática del uso de aditivos orgánicos como parte de las soluciones salinas destinadas a ser aplicadas dentro de las técnicas anti-hielo y que fue abordado a través de un proyecto de investigación específico llevado a cabo en forma conjunta entre la Universidad Nacional de San Juan y la Dirección Nacional de Vialidad, siguiendo los lineamientos que se describen a continuación.

1.2. Objetivos del trabajo

El objetivo principal planteado fue “analizar la incidencia de aditivos orgánicos de origen agroindustrial sobre la eficacia, duración y permanencia a lo largo del tiempo de las salmueras aplicadas como técnicas preventivas anti-hielo sobre pavimentos, evaluando combinaciones de diferentes tipos de sales y desarrollando mejoras en las técnicas de medición del residuo salino remanente sobre la calzada”. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Ampliar el conocimiento sobre productos factibles de utilización, considerando fundentes químicos y aditivos orgánicos de origen agroindustrial, para mejorar la eficacia de las técnicas de prevención (antihielo).
- Conocer las propiedades físicas y químicas de los aditivos orgánicos para evaluar que propiedades se relacionan con la adherencia.

- Construir un aparato de medición de residuo salino sobre pavimentos, para que la medición sea de forma más expeditiva, eficiente y segura con un mínimo impacto sobre el normal desplazamiento del tránsito.
- Preparar soluciones en distintas proporciones de los diferentes compuestos a analizar y efectuar riegos en calzadas pavimentadas para llevar a cabo mediciones en terreno.
- Con las mediciones obtenidas, evaluar su permanencia en calzada en función del tiempo y el tránsito pasante.

1.3. Metodología aplicada

Para cumplimentar los objetivos propuestos, se trabajó en forma conjunta con los Institutos de Biotecnología (IBT) y de Automática (IA), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (U.N.S.J.), buscando ampliar el alcance y extender la aplicabilidad de algunos resultados obtenidos en trabajos precedentes, ejecutados en el 4º Distrito Mendoza de la Dirección Nacional de Vialidad. La metodología empleada, se orientó a cumplimentar los objetivos planteados para el trabajo y se estructuró a través de las siguientes etapas principales:

Exhaustiva búsqueda bibliográfica: Se evaluaron antecedentes relacionados con técnicas preventivas anti-hielo, metodologías usualmente empleadas para aplicar productos salinos disueltos formando salmueras y antecedentes sobre la utilización de productos orgánicos en soluciones salinas.

Selección de los productos a utilizar: Por un lado, existen diversos compuestos salinos además del cloruro de sodio o sal común que también se utilizan dentro de las técnicas anti-hielo. Entre ellos, el cloruro de calcio (Cl_2Ca) y el cloruro de magnesio (Cl_2Mg), disponible en la Argentina y Chile en su variante hexa-hidratada ($\text{Cl}_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) denominada comúnmente “Bischofita”. Por otra parte, la gama de productos de origen agroindustrial que pueden analizarse como agentes complementarios dentro de las soluciones salinas es amplia, incluyendo derivados del maíz, de la caña de azúcar, de la manzana, de la uva y de la remolacha azucarera, entre otros.

Análisis físico-químico de las sustancias orgánicas: El Instituto de Biotecnología de la UNSJ realizó ensayos sobre las muestras de productos orgánicos y efectuó una caracterización descriptiva de sus principales aspectos físico-químicos, motivo de otro trabajo presentado a este mismo congreso, denominado “Análisis de Soluciones Anti-Hielo de Sales y Compuestos Orgánicos para su Aplicación en la Vialidad Invernal”.

Diseño de la fase experimental: Teniendo en cuenta los resultados de la etapa precedente, y las experiencias previas, se planificó una serie de experimentos tanto en laboratorio como en terreno, para analizar distintas combinaciones entre soluciones salinas y productos orgánicos finalmente seleccionados.

Incorporación de mejoras al procedimiento de medición en campo del residuo salino: Como se ha mencionado previamente, dentro del procedimiento empleado en los trabajos desarrollados por el 4º Distrito Mendoza de la DNV, la toma de muestras es lenta y requiere de un control de tránsito exhaustivo, impidiendo la circulación o requiriendo de un sistema específico de control de tránsito durante las mediciones. Por ello, se consideró necesario introducir mejoras en la forma de medir el residuo y con este propósito se desarrolló un dispositivo simple que permite ejecutar mediciones rápidamente, de forma sencilla, expeditiva y segura obteniendo lecturas de fácil, inmediata y directa interpretación.

Ejecución de campañas de medición en terreno: de acuerdo al diseño experimental previamente efectuado, se llevaron a cabo mediciones de la evolución del residuo salino sobre el pavimento para cada mezcla diseñada, en campañas de varios días de duración y que incluyeron la recolección de datos de tránsito, ya fuese en forma manual o automatizada, dependiendo del caso.

Procesamiento y análisis de mediciones, e interpretación de resultados: Se procesó la información obtenida a partir de los ensayos de laboratorio y los experimentos de campo y se trató de modelar la evolución de la cantidad de residuo salino remanente sobre la calzada a través del tiempo. Se buscó, como resultado del análisis, establecer un ordenamiento de las mezclas en función de la eficiencia alcanzada, e introducir estos resultados como variables de decisión dentro del proceso de selección de insumos a utilizar en la gestión del mantenimiento invernal, además que, dichos resultados, sean de uso práctico para el personal vial abocado a la toma de decisiones en el camino.

En el presente trabajo se exponen los principales resultados en relación a las metodologías de medición desarrolladas y al análisis e interpretación de resultados de los trabajos de campo.

2. DESARROLLO DE EQUIPO PARA MEDIR RESIDUO SALINO (MRS)

Uno de los principales problemas que surge, para la aplicación práctica de técnicas anti-hielo, es conocer la cantidad de sal remanente en la calzada y cómo dicha cantidad varía a través del tiempo, por efecto del tránsito y el clima en condiciones reales. En los trabajos realizados por el Distrito Mendoza, la metodología de medición utilizada, si bien es precisa, resultó muy poco práctica, ya que requiere cortar el tránsito por períodos más o menos prolongados mientras se efectúan las mediciones. Surgió entonces la necesidad de desarrollar, proponer y utilizar en terreno una metodología alternativa para la medición de residuo salino superficial sobre el pavimento, que sea rápida, expeditiva, confiable y que no requiera cortar el tránsito por un tiempo apreciable.

Para ello y a partir del estudio detallado de distintas alternativas tecnológicas ya existentes en el mundo para realizar este tipo de mediciones, con el apoyo de los institutos de Biotecnología y de Automática de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ se diseñó un aparato práctico, económico, sencillo, fácil de transportar y utilizar, para medir la conductividad eléctrica de una solución sobre una superficie pavimentada y de esta forma estimar el contenido de sal en la superficie donde se realiza la medición. En la Fig. 1 se presenta una fotografía del aparato elaborado dentro del presente proyecto.

Básicamente, este aparato consta de un recinto hueco y estanco en su parte inferior, el cual se apoya sobre la superficie a medir y se le hace llegar una cantidad predefinida de agua destilada a través de un tubo de conexión que desemboca en el recinto situado en la base. Dentro del mismo hay electrodos que permiten registrar la conductividad eléctrica de la solución que se forma en el interior del recinto. El agua destilada es inyectada por gravedad dentro de dicho recinto, por lo cual llega con suficiente presión como para remover y disolver el residuo salino remanente sobre la calzada. La estanqueidad se consigue con tacos de goma que se han colocado de forma de rodear completamente el recinto de medición, pero es importante presionar fuertemente el aparato contra la calzada ya que si la presión es débil el agua puede escapar por las rendijas entre la goma y el pavimento. La conductividad eléctrica medida por el aparato a través del visor, se correlaciona posteriormente con el contenido de sales de la solución.



Figura 1. Aparato de medición del residuo salino (MRS) desarrollado en el proyecto

Esta técnica es mucho más expeditiva y segura, dado que no requiere cortar completamente el tránsito, sólo es necesario aguardar que se produzca un espacio suficientemente seguro entre vehículos que ocupan la ruta para realizar la medición, que no demora más que unos pocos segundos. La función de dicho dispositivo es facilitar la detección de sal residual en el camino, sin cortes de tránsito y de rápida medición.

El MRS mide conductividad eléctrica, ya que se ha comprobado que hay relación directa con la sal presente. Por lo tanto, procesando las mediciones obtenidas de conductividad eléctrica y teniendo en cuenta, las curvas de calibración que se llevaron a cabo para cada solución salina con diferentes vinazas en laboratorio, se determina la cantidad de sal residual sobre la calzada con un alto grado de confiabilidad.

La conductividad en medios líquidos (solución) está relacionada con la presencia de sales disueltas, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete al líquido a un campo eléctrico. Estos conductores iónicos se denominan electrolitos.

El agua pura prácticamente no conduce la corriente eléctrica, sin embargo el agua con sales disueltas sí es conductora. En la mayoría de las soluciones acuosas, mientras mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será conductividad.

2.1. Calibración del MRS

El equipo fue calibrado en el Instituto de Biotecnología. Para ello en primer lugar, se utilizó solución de sal (NaCl, pureza 99,9 %) y agua destilada, a la concentración eutéctica (23,3 % peso/peso). Se colocaron cantidades conocidas de salmuera sobre baldosas limpias y se midió la corriente eléctrica hasta estabilizar la lectura (aproximadamente 1 minuto). Las concentraciones decrecientes de sal/m² se lograron agregando agua a la salmuera, para ir teniendo una solución cada vez más diluida, es decir bajando la concentración de sal.

Después se colocó en el piso las mismas cantidades, pero utilizando una solución eutéctica preparada con sal y agua potable, repitiendo el procedimiento de la misma manera. Las medidas globales de corriente eléctrica tomadas en esta ocasión son mayores en el orden de los μA (microamperes). Es decir, que no diferían significativamente con las lecturas registradas en el primer experimento.

La gráfica obtenida en el segundo caso se presenta en la Figura 2. Puede verse, que hay una altísima correlación, en laboratorio entre los valores conocidos de cantidad de sal y las correspondientes mediciones registradas con el aparato, con un R^2 prácticamente igual a 1.

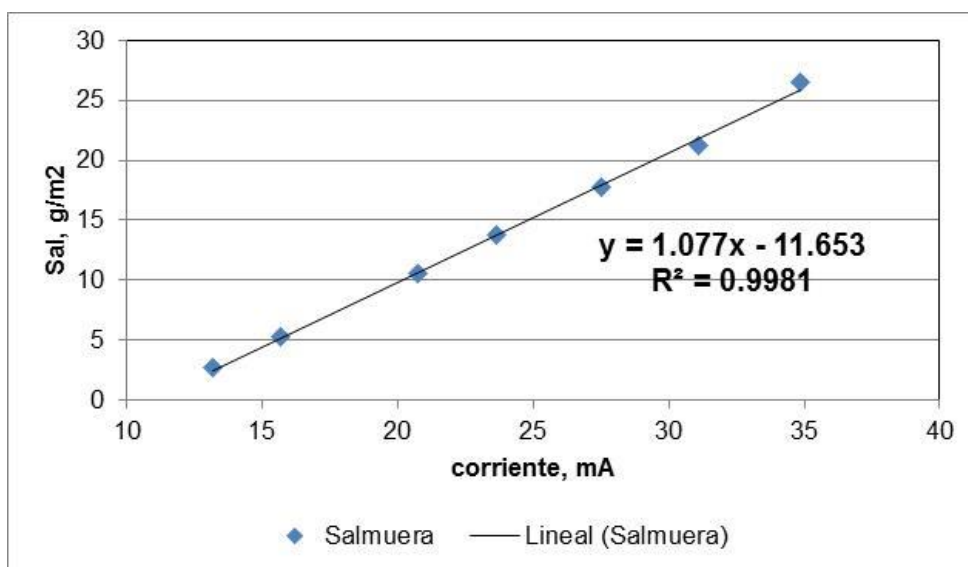


Figura 2. Correlaciones para sal (cloruro de Sodio) disuelta en agua potable

2.2. Curvas de calibración de las distintas soluciones salinas utilizadas

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por lo mismo conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tienen su curva característica de concentración contra conductividad. En este proyecto, se realizaron en laboratorio mediciones de conductividad con cantidades medidas de solución salina con una concentración conocida, con el fin de construir la ecuación de correlación entre concentración de sal y conductividad. Las soluciones ensayadas fueron:

- 1) SALMUERA
- 2) SALMUERA + 10 % Vinaza concentrada
- 3) SALMUERA + 10% Vinaza (vino) Neuquén
- 4) SALMUERA + 40 % Bischofita
- 5) SALMUERA + 40 % Bischofita + 10% Vinaza concentrada
- 6) SALMUERA + 40% Bischofita + 10% Vinaza (vino) Neuquén

En la Tabla 1 se detallan los resultados de las soluciones ensayadas y en la Figura 3 se presentan las curvas de calibración obtenidas.

Tabla 1. Corrientes medidas para distintas soluciones ensayadas

S1- Salmuera		S2- Salmuera + Vin.Conc. 10%		S3- Salmuera+Vin.Vino 10%	
g sal /m2	mA	g sal /m2	mA	g sal /m2	mA
22,51712	17,8	20,80224	18,3	19,96344	18,2
11,25856	12,3	10,40112	12,7	9,98172	13,3
6,524	10	6,14421	10,3	5,74578	11,1
4,66	8	4,08915	9	3,94236	8,8
1,864	7	1,6776	7,3	1,6776	7,4
S4- Salmuera+Bischofita 40%		S5- Salmuera+Bischofita 40%+Vin.Conc.10%		S6- Salmuera+Bischofita 40%+Vin.Vino10%	
g sal /m2	mA	g sal /m2	mA	g sal /m2	mA
22,160384	18	20,17188	17,1	19,66472	17,6
11,080192	12	10,08594	13,5	9,83236	13,1
6,3784	10	6,07365	10,7	6,135	11
4,3282	9	4,09	9,3	4,09	9,2
1,8224	7	1,6769	7,5	1,636	7,3

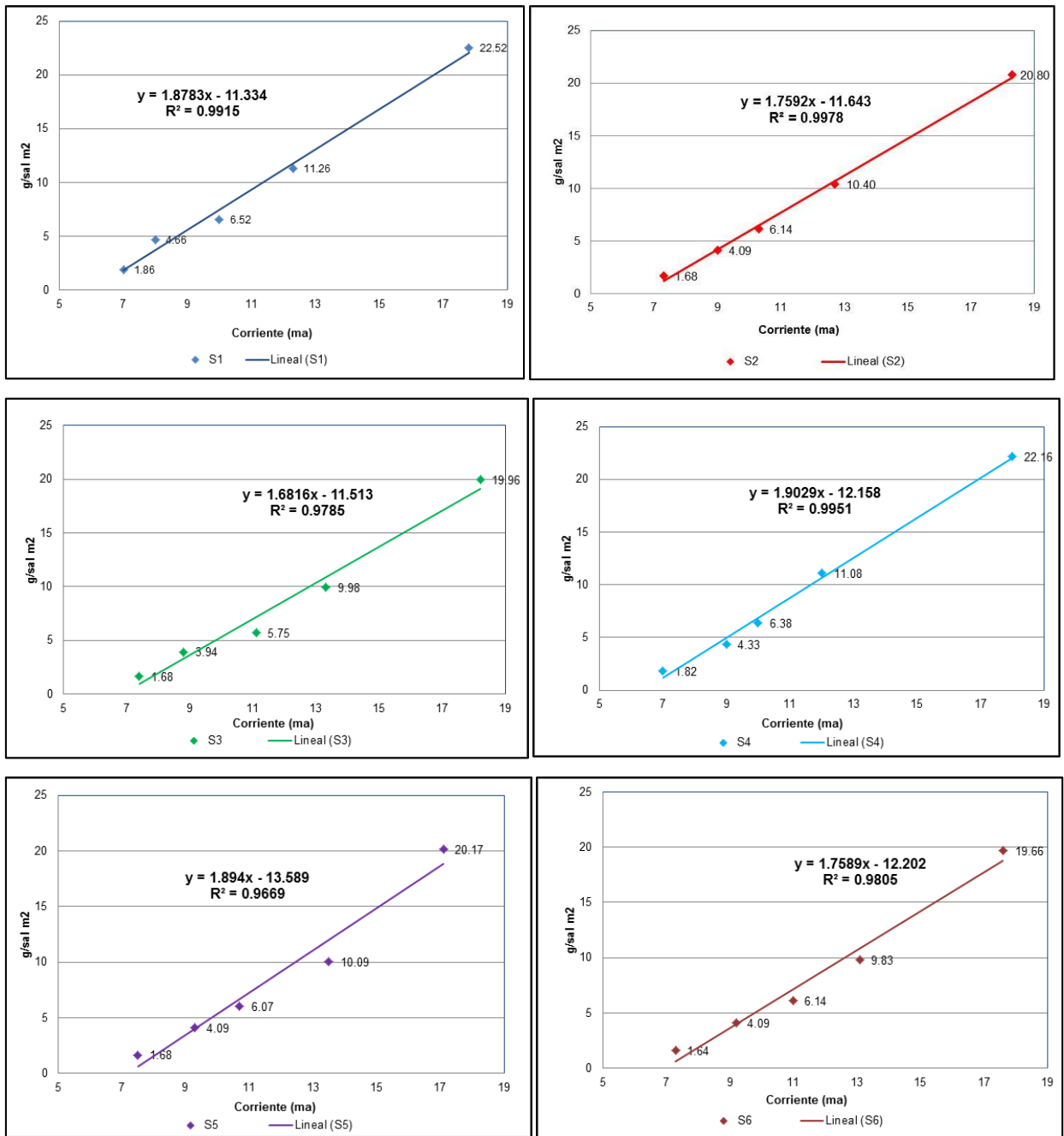


Figura 3. Curvas de calibración de conductividad vs cantidad de sal para las 6 soluciones ensayadas

En la Figura 4, se exponen todos los puntos obtenidos para las diferentes concentraciones utilizadas, para cada una de las soluciones estudiadas.

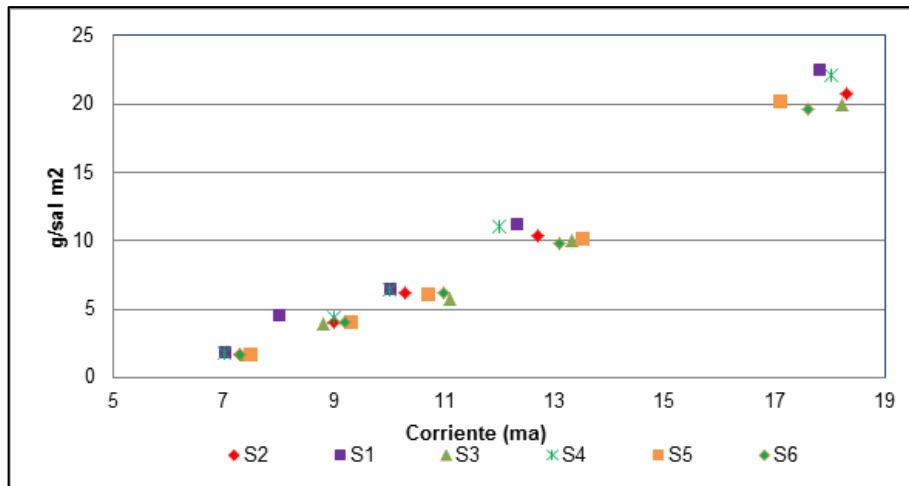


Figura 4. Tendencia de los valores obtenidos para todas las soluciones

De la observación directa de la Figura 4 se concluye que sería razonable proponer una única curva de correlación para todas las soluciones ensayadas, dentro del rango de concentraciones utilizado. Dicha curva unificada se muestra en la Figura 5.

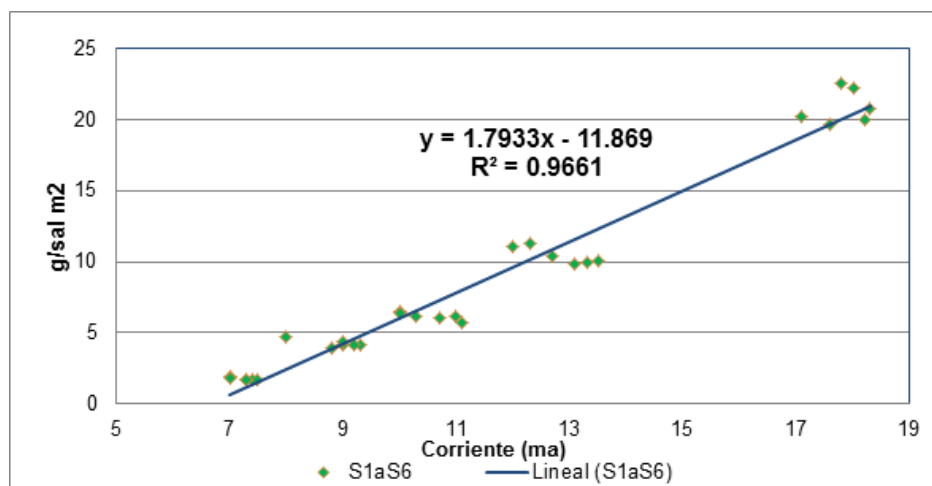


Figura 5. Curva de correlación unificada para todas las soluciones

La curva de correlación unificada permite simplificar las tareas de medición al operario afectado a las mismas, dado que entrando con el valor de conductividad sobre la calzada en cualquier momento del día se podrá determinar la dosis de mezcla de solución a colocar, según el residuo salino existente.

3. TRABAJOS DE CAMPO

La metodología de trabajo fue diseñada y aplicada con la finalidad de llevar a cabo los diferentes riegos de soluciones analizadas. Las actividades de campo se llevaron a cabo a mediados del año 2013.

3.1. Primera campaña: 9° Distrito San Juan

En primer lugar, se realizaron riegos de diferentes soluciones salinas durante la semana del 17/06/2013 al 24/06/2013 en el ingreso al Playón del 9° Distrito San Juan de la Dirección Nacional de Vialidad. Las mediciones se llevaron a cabo con el aparato MRS, durante los días 0, 1, 2 y 8, en tres (3) horarios diferentes del día. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

- características de la calzada
- estado del tiempo
- tránsito pasante
- corriente base del pavimento previo a los riegos.

Para la determinación del tránsito pasante durante el período analizado, se colocó un contador permanente (Figura6). El mismo fue instalado desde el día Lunes 17/06/13 a las 10:00 hs hasta el lunes siguiente a las 10:00 hs, con la finalidad de determinar los vehículos pasantes y en función ello, observar la cantidad de sal residual sobre la calzada a intervalos predefinidos.



Figura 6. Contador de tránsito, mediciones en playón del 9° Distrito San Juan, DNV

Las soluciones regadas a la concentración eutéctica fueron las siguientes:

- Solución N° 1: Salmuera (usada en distrito de Mendoza – NaCl)
- Solución N° 2: Salmuera + 10% Vinaza comercial
- Solución N° 3: Salmuera + 10% Vinaza (vino) Neuquén

En la Fig. 7 puede observarse la coloración de las soluciones regadas.



Figura 7. Soluciones regadas, playón del 9º Distrito DNV

3.1.1. Determinación de la concentración residual sobre el pavimento

Para verificar si el agregado de un aditivo agrícola, en la solución salina, produce mayor permanencia del residuo salino sobre el pavimento, considerando la experiencia generada por los estudios previos llevados a cabo en laboratorio, se decidió hacer los siguientes riegos,:

- Solución al 100% de salmuera a la concentración eutéctica
- Solución 90 % de salmuera y 10 % Vinaza comercial (de caña de azúcar)
- Solución 90 % de salmuera y 10 % Vinaza de vino procedente de Neuquén.

El procedimiento para realizar este ensayo, consistió en definir un tramo experimental tomando franjas de 1,50 m por el ancho de calzada (7,00 m); para posteriormente determinar la corriente eléctrica con el MRS. Para ello se colocaba en el instrumento 120 ml de agua de la canilla, para favorecer la disolución de la sal existente en la calzada y así proceder a medir la corriente eléctrica.

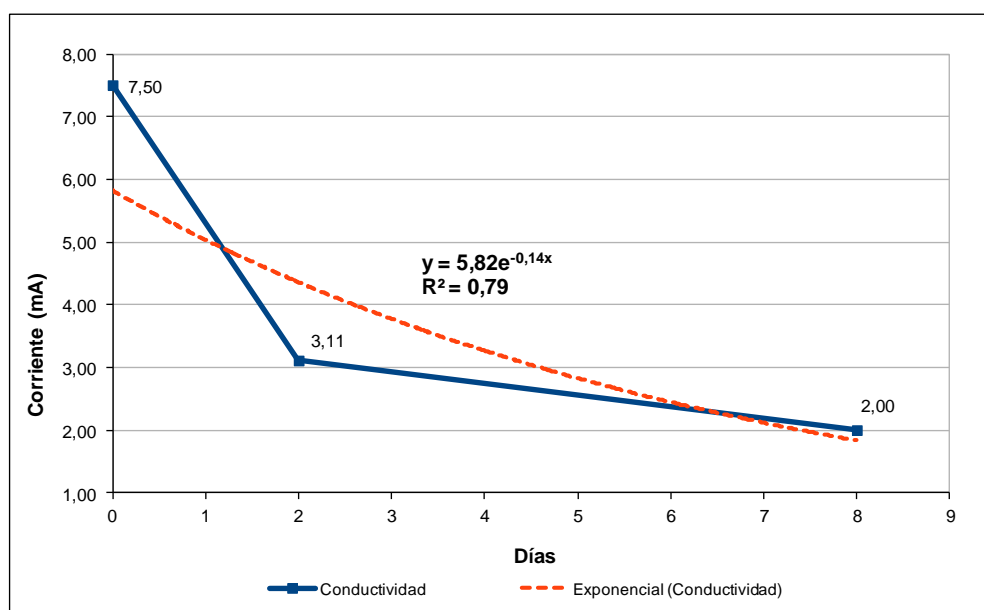
El período de testeo tuvo una duración de 7 días y por cada día se hicieron 3 mediciones en cada sector de manera aleatoria, en horarios diferentes del día y prefijados.

Previa depuración y reajuste de datos que resultaron anómalos, se obtuvieron los resultados finales de mediciones para cada solución ensayada que se presentan en las Tablas 2 a 4. En estas Tablas se detallan horarios y fechas de la medición, las

características del estado del tiempo y pavimento en el momento de la medición, entre otras cosas.

Tabla 2. Resultados de mediciones utilizando el dispositivo MRS – Solución S1

SOLUCION SALINA N° 1	SALMUERA PURA (solución preparada: 2450 cm3)					
Día y Fecha de la Medición	Medición sobre la Solución (mA)	Corriente "Base" medida sobre el pavimento (mA)	Corriente "Real" de la solución (mA)	Corriente Promedio (mA)	Características de la calzada	Estado del Tiempo
Dia 0 – Lunes 17/06/13	20,90	11,39	9,51	7,50	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 6°C
	13,82					NUblado – Temp: 6°C
	16,87		5,48			NUblado – Temp: 12°C
Dia 1 – Martes 18/06/13	22,80	11,39	11,41	12,86	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado– Temp: -1°C
	14,50					Despejado– Temp: 9°C
	25,70		14,31			Despejado– Temp: 12°C
Dia 2 – Miercoles 19/06/13	22,60	11,39		3,11	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 5°C
	14,09		2,70			NUblado – Temp: 8°C
	14,90		3,51			NUblado – Temp: 9°C
Dia 8 – Lunes 24/06/13	13,39	11,39	2,00	2,00	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado– Temp: 5°C

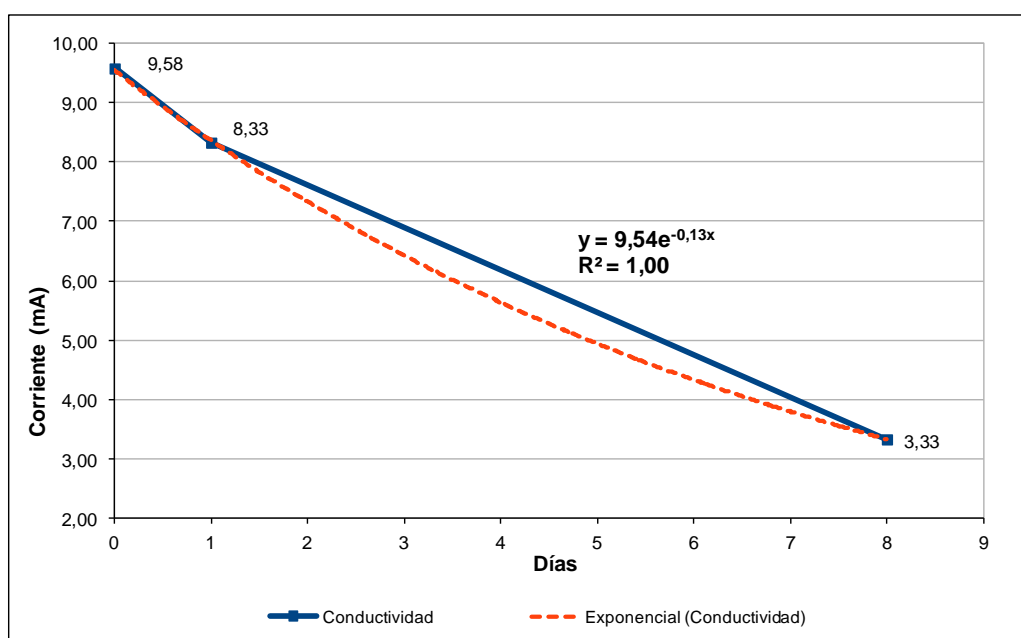


En las figuras incluidas en las tablas 2 a 4 se puede observar que se registra en todos los casos un sensible descenso de la conductividad medida sobre el pavimento luego de varios días, lo cual en primer lugar confirma que efectivamente el residuo salino va desapareciendo de la superficie en forma progresiva. Existen de todas formas algunas oscilaciones notorias en los valores de conductividad medidos durante los primeros días, pero debe tenerse en cuenta que se trata de las primeras pruebas en terreno con un aparato recientemente desarrollado, en etapa de evaluación inicial al momento de

llevar a cabo las mediciones en el ingreso al playón de la DNV. Asimismo, puede haber muchos otros factores que incidan sobre los resultados, como la cantidad de líquido regado, la manera de efectuar los riegos por parte de los operadores, la metodología usada para tomar las muestras en forma aleatoria, etc.

Tabla 3. Resultados de mediciones utilizando el dispositivo MRS – Solución S2

SOLUCION SALINA N° 2		SALMUERA + Vinaza concentrada 10 %				
Día y Fecha de la Medición	Medición sobre la Solución (mA)	Corriente "Base" medida sobre el pavimento (mA)	Corriente "Real" de la solución (mA)	Corriente Promedio (mA)	Características de la calzada	Estado del Tiempo
Dia 0 – Lunes 17/06/13	19,93	11,39	8,54	9,58	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 6°C
	34,80					NUblado – Temp: 6°C
	22,00		10,61			NUblado – Temp: 12°C
Dia 1 – Martes 18/06/13	20,40	11,39	9,01	8,33	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado– Temp: -1°C
	18,93		7,54			Despejado– Temp: 9°C
	19,83		8,44			Despejado– Temp: 12°C
Dia 2 – Miercoles 19/06/13	26,50	11,39	15,11	13,96	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 5°C
	24,20		12,81			NUblado – Temp: 8°C
	17,67					NUblado – Temp: 9°C
Dia 8 – Lunes 24/06/13	14,72	11,39	3,33	3,33	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado– Temp: 5°C

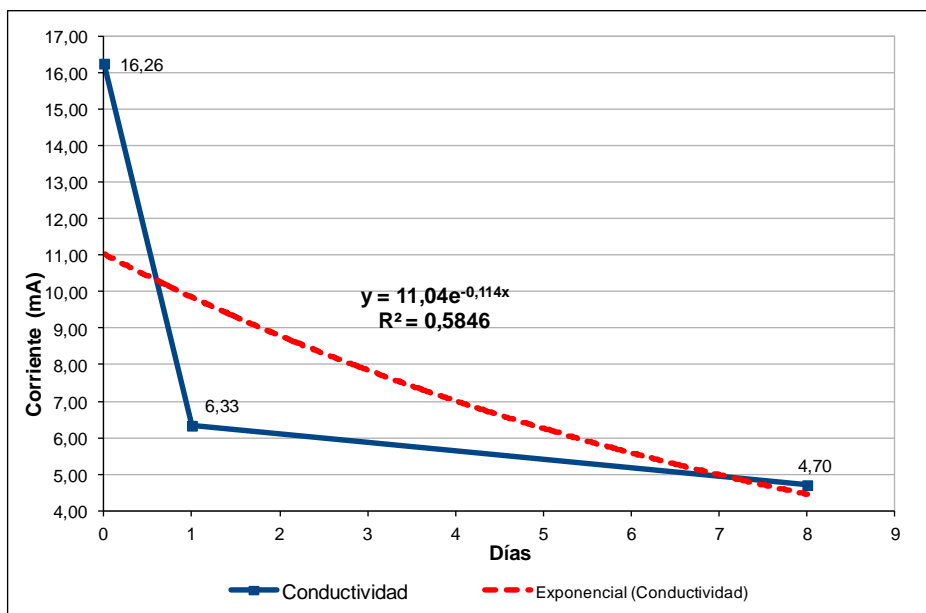


De todas formas, además de la tendencia decreciente, también fue posible detectar, que la incorporación de vinazas permite en el largo plazo mantener una mayor cantidad de residuo salino sobre la calzada, considerando los mayores valores de conductividad

registrados al octavo día (3,33 mA y 4,7 mA) para vinaza concentrada y vinaza residual de vino respectivamente) esto se refleja en las Tablas 3 y 4, en relación al valor registrado para la salmuera pura de NaCl (Tabla 2).

Tabla 4. Resultados de mediciones utilizando el dispositivo MRS – Solución S3

SOLUCION SALINA N° 3	SALMUERA + Vinaza (vino) Neuquen 10 % (solución preparada: 2500 cm3)					
Día y Fecha de la Medición	Medición sobre la Solución (mA)	Corriente "Base" medida sobre el pavimento (mA)	Corriente "Real" de la solución (mA)	Corriente Promedio (mA)	Características de la calzada	Estado del Tiempo
Dia 0 – Lunes 17/06/13	17,69	11,39		16,26	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 6°C
	29,90		18,51			NUblado – Temp: 6°C
	25,40		14,01			NUblado – Temp: 12°C
Dia 1 – Martes 18/06/13	16,84	11,39	5,45	6,33	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado – Temp: -1°C
	18,19		6,80			Despejado – Temp: 9°C
	18,12		6,73			Despejado – Temp: 12°C
Dia 2 – Miercoles 19/06/13	20,50	11,39	9,11	9,91	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	NUblado – Temp: 5°C
	15,43					NUblado – Temp: 8°C
	22,10		10,71			NUblado – Temp: 9°C
Dia 8 – Lunes 24/06/13	16,09	11,39	4,70	4,70	Hormigón – Estado antes de la solución: SECO	Despejado – Temp: 5°C



Esto permitió verificar, en esta etapa de mediciones preliminares y sujeto a las diferentes limitaciones y posibles fuentes de error previamente mencionadas, la utilidad de aplicar compuestos orgánicos para prolongar la permanencia del residuo salino sobre la calzada.

3.2. Segunda campaña: Acceso Este – Avda Circunvalación

Durante la semana del 26 de Agosto de 2013, se llevaron a cabo mediciones de conductividad eléctrica en R.N. N° 20 –Km 580,00 Acceso Este de la ciudad de San Juan. Para ello se demarcaron sobre la calzada seis (6) franjas de 4,50 x 7,50 m, cuya sección de regado aproximada de 33,00 m², separadas entre sí 15 mts. Dicha separación se tuvo en cuenta para que los neumáticos de los vehículos pasantes, no llevaran restos de las soluciones anteriores a las franjas regadas que aparecen posteriormente.

En lo que sigue, se entiende por “salmuera” a la solución de cloruro de sodio en agua, a la concentración eutéctica. Las soluciones regadas en esta segunda campaña fueron las siguientes:

- SALMUERA
- SALMUERA + 10% Vinaza concentrada
- SALMUERA + 10% Vinaza (vino) Neuquén
- SALMUERA + 40% Bischofita
- SALMUERA + 40% Bischofita + 10% Vinaza concentrada
- SALMUERA + 40% Bischofita + 10% Vinaza (vino) Neuquén

Se prepararon las salmueras a la concentración eutéctica, previamente se determinó la conductividad del pavimento en el estado inicial, es decir, sin riego de soluciones. Los sectores a medir se marcaron en el pavimento previamente, mediante la plantilla indicada en la Figura 8. El período de estudio abarcó 1 semana.

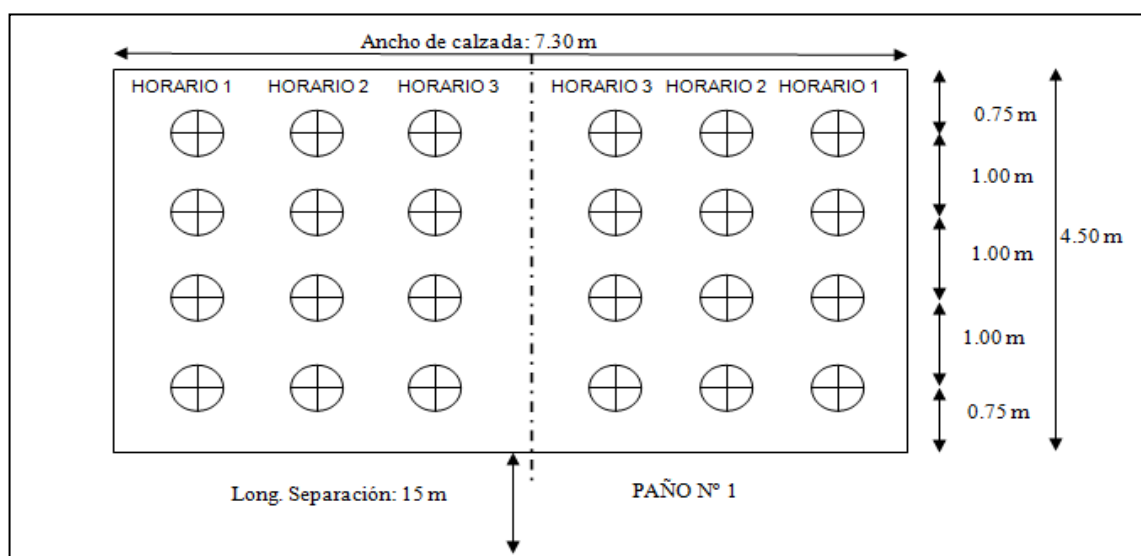


Figura 8. Plantilla de mediciones

En la Figura9 puede observarse la coloración de las soluciones regadas. Para el riego se utilizó nuevamente un Pulverizador a presión.



Figura9. Soluciones regadas en la segunda campaña

Para la determinación del tránsito pasante durante el período abarcado en el estudio, se colocó nuevamente un contador permanente. Durante el período de mediciones se contó con la colaboración de Gendarmería Nacional y del personal de seguridad vial del 9º Distrito DNV, San Juan, para resguardar la seguridad de los operarios y minimizar las demoras para el tránsito.

3.2.1 Determinación de la concentración residual

Para llevar a cabo las mediciones de corriente eléctrica, el dispositivo MRS se posicionaba en forma vertical presionándolo contra la calzada para que el recinto inferior quede suficientemente estanco (Fig. 10), y se colocaba en el instrumento 120 ml de agua, inyectándolo hacia el recinto de medición para favorecer la disolución de la sal existente en la calzada, tal como se indicó previamente.

Este mismo procedimiento se repetía dos veces dentro de cada franja y momento de medición, en puntos previamente seleccionados, hasta terminar el período de medición planificado. Se tenía especial cuidado en lavar con agua limpia la parte interna del recinto inferior del aparato MRS luego de cada medición, para así evitar contaminaciones que afectasen las mediciones posteriores. Como ejemplo del análisis y procesamiento de datos recopilados, se presentan en la Tabla 5 los resultados obtenidos para la solución S1.



Figura 10. Procedimiento de medición de conductividad sobre pavimento

Tabla 5. Resultados de mediciones en 2º campaña– Solución S1

SOLUCION SALINA N° 1	SALMUERA PURA (solución preparada: 2970cm3)					
Día y Fecha de la Medición	Medición OBtenida sobre la Solución(mA)		Medición Promedio	Medición Promedio FINAL (Ma)	Corriente "Base" pavimento (mA)	Corriente "Real" (mA)
Día 1 – Martes 27/08/13	20,70	36,40	28,55	26,08	12,38	13,70
	28,50	30,40	29,45			
	19,70	20,80	20,25			
Día 2 – Miércoles 28/08/13	18,50	15,40	16,95	19,22	12,38	6,84
	18,60	16,90	17,75			
	23,90	22,00	22,95			
Día 4 – Viernes 30/08/13	20,80	18,50	19,65	13,12	12,38	0,74
	13,00	11,20	12,10			
	7,10	8,10	7,60			
Día 7 – Lunes 02/09/13	14,00	13,40	13,70	14,35	12,38	1,97
	14,40	13,50	13,95			
	12,90	17,90	15,40			

Además de los valores promedio de corriente eléctrica medidos en cada día, en las gráficas se trazaron líneas de tendencia con distintas aproximaciones (lineal, polinómica, logarítmica, exponencial y potencial), para evaluar en forma comparativa los ajustes logrados con dichas tendencias y seleccionar la que mejor represente la evolución de la variación del contenido salino sobre la calzada a través del tiempo. Las Figs. 11 y 12 muestran las curvas para las soluciones analizadas.

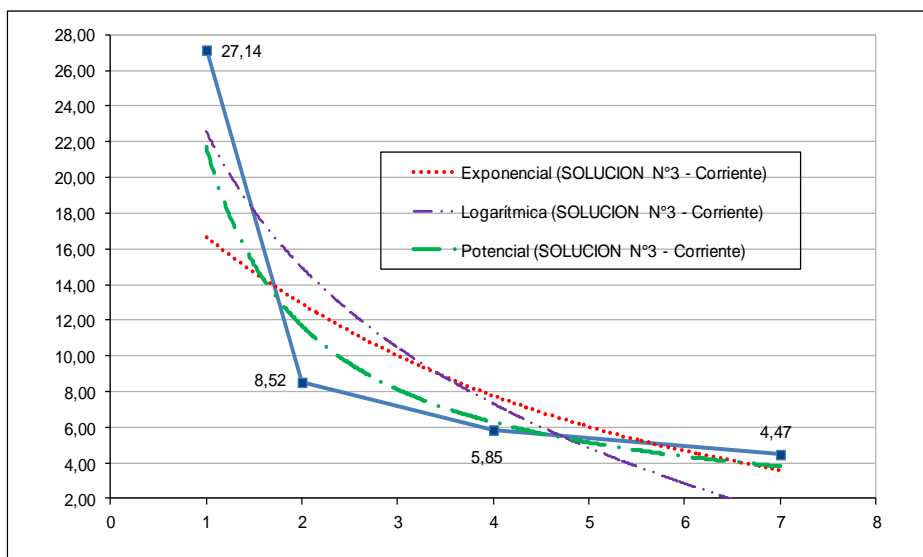
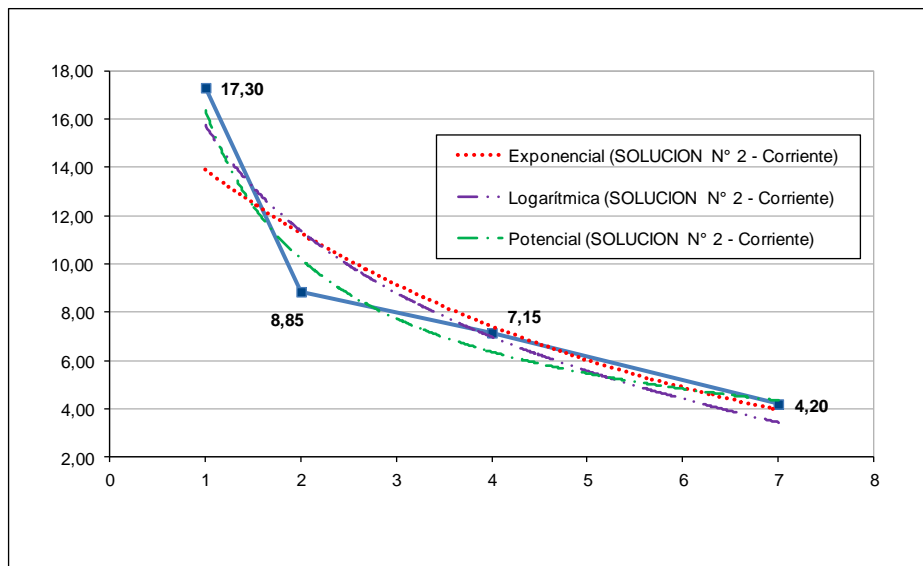
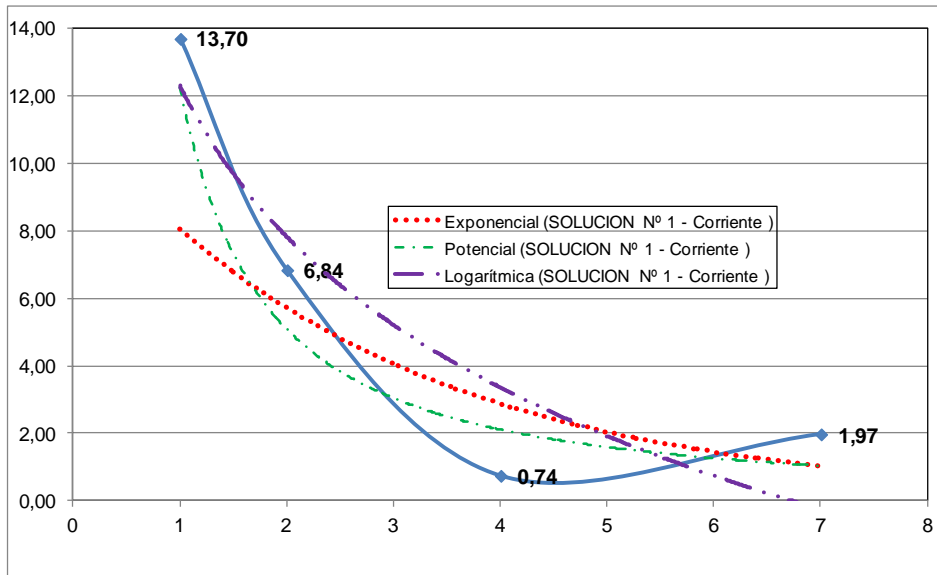


Figura 11. Variación de mediciones de conductividad en el tiempo, soluciones S1 a S3

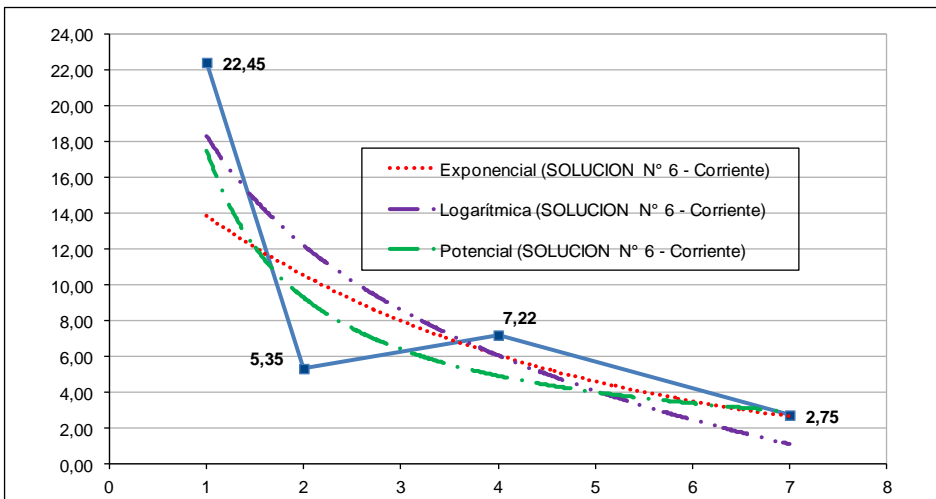
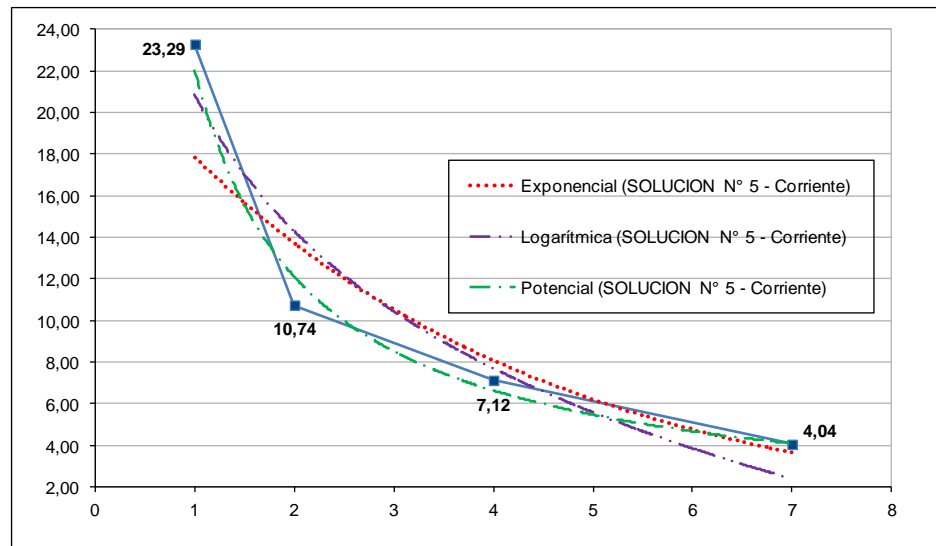
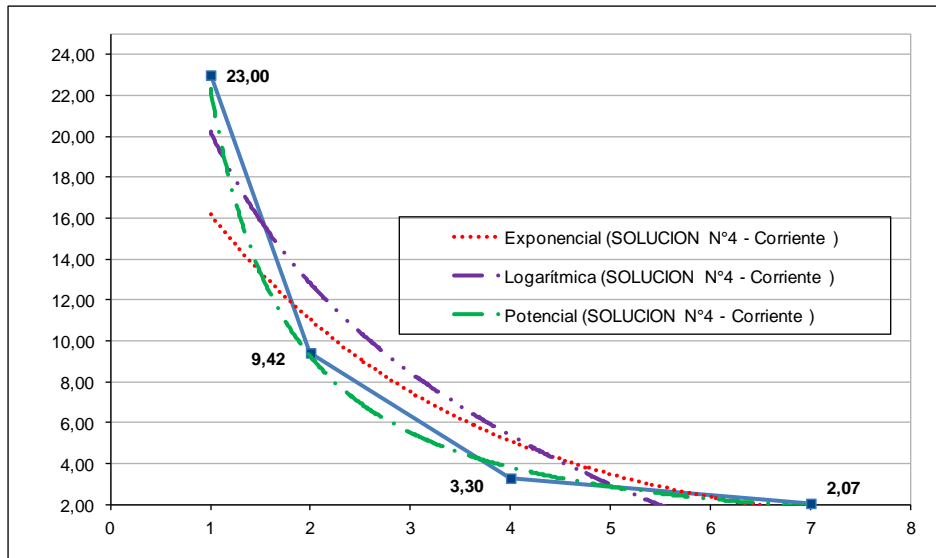


Figura 12. Variación de mediciones de conductividad en el tiempo, soluciones S4 a S6

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos para la comparación de soluciones con y sin vinazas orgánicas

A modo de resumen de lo expuesto en el punto anterior, considerando las mediciones realizadas en el Acceso Este a la ciudad de San Juan, en la Tabla 6 pueden observarse las distintas líneas de tendencias sugeridas para el modelo obtenido y su valor de correlación respectivamente.

Tabla 6. Ecuaciones vs Correlaciones

Soluciones	Linea de tendencia			Correlaciones (R2)		
	Exponencial	Logarítmica	Potencial	Exponencial	Logarítmica	Potencial
Solución N° 1: Salmuera	$y=11,36 e^{(-0,34x)}$	$y= -6,45 \ln(x) + 12,31$	$y=12,26 x^{(-1,27)}$	0,49	0,86	0,68
Solución N° 2: Salmuera+ Vin. Conc. 1 0%	$y=15,95 e^{(-0,22x)}$	$y= -6,76 \ln(x) + 15,56$	$y=15,85 x^{(-0,76)}$	0,78	0,89	0,95
Solución N° 3: Salmuera+ Vin. Vino. 10%	$y= 20,01 e^{(-0,26x)}$	$y= -11,38 \ln(x) + 22,44$	$y=21,07 x^{(-0,97)}$	0,62	0,77	0,85
Solución N° 4: Salmuera+Bischofita 40%	$y=21,48e^{(-0,25x)}$	$y= -11,02 \ln(x) + 22,58$	$y= 21,72 x^{(-0,90)}$	0,72	0,78	0,91
Solución N° 5: Salmuera+Bischofita 40% + Vin. Conc 10%	$y= 23,28 e^{(-0,26x)}$	$y= -9,50 \ln(x) + 20,85$	$y= 22,04 x^{(-0,87)}$	0,90	0,90	0,99
Solución N° 6: Salmuera+Bischofita 40% + Vin. Vino 10%	$y= 20,71 e^{(-0,32x)}$	$y= - 7,82 \ln(x) + 16,75$	$y=18,41 x^{(-1,00)}$	0,88	0,84	0,87

Para todas las soluciones analizadas, la ecuación logarítmica es la que mejor correlación tiene respecto a la curva de resultados. Sin embargo, dicha línea de tendencia tiende a “cero” entre los días 6 y 7 en casi todos los casos. Esto no es acorde, a lo manifestado por las mediciones obtenidas al finalizar el plazo de estudio (8 días). Según las mediciones obtenidas finalizado el plazo de estudio, se observó que existe sal residual sobre la calzada, en un porcentaje variable entre el 10 % al 25 % según el tipo de solución.

Conceptualmente, se observa que la **ecuación Potencial** a veces da menor ajuste con respecto a la exponencial y logarítmica. Sin embargo, es la ecuación que mejor representa el fenómeno físico de la evolución esperada del comportamiento del residuo

salino, ya que la curva baja fuertemente pero nunca va a cortar el eje de las "X" (no se espera tener un residuo negativo), y las otras curvas sí lo hacen en algunos casos. Finalmente, las curvas de ecuaciones potenciales quedan más cercanas a los datos observados, las otras líneas de tendencias son más "planas" y se alejan más de los datos, sobre todo a medida que avanza el tiempo.

Por lo expuesto, el modelo de comportamiento a seguir por las distintas soluciones es el de la ecuación de tipo **POTENCIAL DECRECIENTE**.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

-En este proyecto fue posible verificar, con claridad, que la adición de vinaza concentrada colabora a que la sal permanezca más tiempo sobre calzada. La cantidad de residuo salino sobre la calzada va disminuyendo en el tiempo, pero la incorporación de vinazas permite mantener sobre el pavimento una mayor cantidad de residuo salino luego de varios días, respecto a lo que se observa en el caso de las soluciones sin este agregado.

-Para determinar de forma expeditiva, segura y a bajo costo, la concentración de fundente químico residual sobre la calzada y su evolución a través del tiempo, bajo condiciones de tránsito real, se diseñó e implementó un dispositivo de medición (MRS).

-De los datos obtenidos en las mediciones llevadas a cabo, se observa que los mejores resultados, en cuanto a alcanzar un mayor residuo salino sobre calzada, en función de los días transcurridos y tránsito pasante, corresponden a las siguientes soluciones ensayadas (en orden decreciente de mejores resultados) :

- 90 % de salmuera + 10 % Vinaza comercial (caña de azúcar)
- 50% de salmuera + 40% Bischofita + 10 % Vinaza comercial
- 90 % de salmuera + 10 % Vinaza de vino procedente de Neuquén

-El modelo de comportamiento a seguir por las distintas soluciones, en función del tránsito y tiempo, responde a una ecuación de tipo **potencial decreciente**.

5.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones, se hacen en función de los resultados y de las conclusiones de este trabajo:

- Se propone tener en cuenta el uso de aditivos orgánicos que previamente necesitan de un proceso de cloración para su almacenamiento y conservación. De esta manera, se colabora con el medio ambiente de dos maneras:
 - Disminuyendo el consumo de sal
 - Utilizando un residuo que surge del procesamiento de la manzana, pera, remolacha y uva, productos que en la actualidad son desechados.
- Verificar la curva de calibración del MRS, resumen con mediciones de campo, y extender la aplicación y uso del instrumento.
- Tomar muestras de banquetas, taludes, préstamos y cursos de ríos para evaluar en qué forma son afectados y si existiese contaminación de los mismos con sal cualquiera sea su tipo, para promover otras formas y/o técnicas de trabajo.
- Confeccionar especificaciones técnicas ambientales de mitigación para subsanar el daño generado.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo económico y amplia colaboración brindados por la Dirección Nacional de Vialidad, el Banco Mundial (BIRF), y la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) para el desarrollo del proyecto de investigación que dio origen al presente trabajo, como así también reconocer el aporte y asesoramiento brindados por personal de los Institutos de Automática y Biotecnología de la UNSJ.

7. REFERENCIAS

- “Lecciones sobre Mantenimiento Invernal”. Dr. Ing. Nixon Wilfrid, Universidad de Iowa, EE.UU., febrero de 2008.
- “Guía para el Control de Hielo y Nieve”, AASHTO. 1996.
- “Manual of Practice for Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance”.Publication FHWA-RD-95-202. June 1996
- “Desarrollo de mezclas anti-hielo en Argentina (Experiencia en la R.N. 7 Paso Internacional Cristo Redentor)”. Franciosi, M., y Pérez Pereyra, W. XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Córdoba, Argentina, Octubre del 2012.
- “Uso de Aditivos Orgánicos para Incrementar la Duración de Riegos Anti-Hielo sobre Calzadas Pavimentadas”. Rosa Carolina Aguilera Soraire. Tesis de Maestría. EICAM, UNSJ, 2015.