

USO DE ADITIVOS ORGANICOS PARA INCREMENTAR LA DURACIÓN DE RIEGOS ANTI-HIELO SOBRE CALZADAS PAVIMENTADAS

USING ORGANIC PRODUCTS FOR LONG-LASTING ANTI-ICING TREATMENTS: ON-GOING RESEARCH IN ARGENTINA

Autores:

Maturano, Jorge (Dirección Nacional de Vialidad – EICAM)
Bustos, Marcelo (Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, EICAM, UNSJ)
Franciosi, Marcelo (Dirección Nacional de Vialidad, DNV)
Pérez, Walter (Dirección Nacional de Vialidad)
Aguilera, Carolina (DNV – EICAM)
Vallejo, Martha (Instituto de Biotecnología, UNSJ)

RESUMEN

Las actuales técnicas de mantenimiento invernal han adoptado un enfoque pro-activo para mantener los caminos libres de hielo, lo que se denomina “pavimento negro” en el ámbito vial. Esto requiere que los fundentes químicos salinos permanezcan sobre calzada tanto tiempo como sea factible, y que el tránsito no los elimine fácilmente de la superficie pavimentada.

Con este propósito, y en base inicialmente a experiencias y antecedentes recopilados a nivel internacional, se han comenzado a utilizar productos orgánicos derivados de la industria de la alimentación, mezclándolos en una solución con los fundentes químicos habitualmente utilizados. Estudios realizados por el 4º Distrito de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) en Argentina indican que efectivamente la incorporación de dichos productos permite incrementar la duración de los fundentes sobre la calzada, mejorando sensiblemente su rendimiento a través del tiempo.

Para ampliar el alcance de la investigación, la Universidad Nacional de San Juan ha realizado análisis de caracterización físico-química sobre diferentes tipos de productos orgánicos, con la intención de mejorar la comprensión de los fenómenos que definen las condiciones de adherencia de los compuestos a la superficie pavimentada. Asimismo, se han evaluado combinaciones de compuestos salinos y productos orgánicos disueltos en proporciones variables, procurando encontrar soluciones optimizadas que permitan alcanzar simultáneamente buenas condiciones de permanencia y costos que resulten lo más reducidos posible.

Por otro lado, se ha diseñado y utilizado en terreno una metodología de medición 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. Las mediciones se realizan con un aparato que permite registrar la conductividad eléctrica del residuo salino remanente sobre el pavimento, para lo cual se ha comprobado estadísticamente que existe una correlación suficientemente confiable entre conductividad y contenido total de sales existente en el residuo.

SUMMARY

Current techniques for road maintenance in winter season adopt a pro-active approach for anti-icing treatments, known as “black pavement”. This approach requires sprays of saline solutions that should remain on the road surface as much as possible, and also that could not be easily eliminated by the traffic.

In Argentina, based on experiences provided by international studies previously developed, organic products that are residuals from food industry have been used in solutions mixed with saline sprays. The 4th District Mendoza of the National Roads Administration in Argentina (DNV) developed field studies which show a notorious increment in the time that the salt sprayed remains over the road, improving its anti-icing performance.

To enhance the scope of that investigation, the National University of San Juan (Argentina) carried on laboratory tests to define the physical and chemical composition of different types of organic products, looking for a better understanding of the phenomena that improves the adherence of spray compounds to the paved surface. Also, combinations of different saline compounds and organic products dissolved in variable proportions have been evaluated, trying to find optimized solutions that allow the highest duration of the anti-icing performance at a lowest possible cost.

Besides that, an efficient, safe and low-cost measurement methodology to determine the concentration of salt residuals over the road and also the variation of such concentration along time has been designed and applied in roads with real traffic. Measurements are performed using a device that registers the electrical conductivity of a sample of saline residual taken from the pavement surface. It has been previously verified the statistical correlation between conductivity and existing total amount of salts, from complementary tests also developed in this research.

1. INTRODUCCIÓN

Las actuales técnicas de mantenimiento invernal han adoptado un enfoque proactivo a los efectos de mantener los caminos libres de hielo, lo cual se conoce como “pavimento negro” en el léxico vial. Esto consiste en actuar antes de la ocurrencia de la nevada o del congelamiento de la calzada, dando mayor seguridad al tránsito, con lo que se logra disminuir las labores en calzada y la cantidad de fundentes químicos de tipo salino que se utilizan. Esta técnica requiere que los fundentes químicos permanezcan sobre la calzada tanto tiempo como sea factible, y que el tránsito no los elimine fácilmente.

El presente trabajo se enmarca en un **Proyecto de Investigación Anti – Icing** (técnicas anti-hielo) que la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) de Argentina ha solicitado realizar a la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña (EICAM), dependiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. Dicho proyecto evalúa la utilización de productos derivados de la industria alimenticia (residuos del procesamiento de caña de azúcar, remolacha azucarera y uva, entre otros) aplicados en forma conjunta con soluciones salinas, con el propósito de incrementar el tiempo de permanencia de los fundentes químicos sobre la calzada. Asimismo, el proyecto propone el desarrollo y puesta a punto de un aparato que posibilita medir el residuo salino en calzada en forma rápida y segura, minimizando la interferencia con el tránsito.

Para poder cumplimentar los objetivos propuestos en la investigación, se trabaja en forma conjunta con los Institutos de Biotecnología (IBT) y de Automática (IA), ambos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

2. ANTECEDENTES Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Durante la época invernal, la acumulación de hielo y nieve en la calzada produce múltiples efectos negativos y perjudiciales no sólo para el tránsito sino para toda la sociedad en su conjunto, ya que al interrumpirse el tránsito vehicular, cesa la movilidad de personas y bienes, provocando importantes dificultades operativas y cuantiosas pérdidas económicas. Particularmente, los caminos de alta montaña, que constituyen la problemática de mayor interés dentro del proyecto de investigación en curso, presentan en general las siguientes características principales:

- Una topografía muy exigente para el tránsito

Congreso Internacional, Mantenimiento Invernal, Andorra 2014

- Un clima severo en la mayoría de los casos, que determina la presencia frecuente de hielo, nieve o lluvias, con lo que deben tenerse en cuenta sus efectos sobre la seguridad en la circulación y operación de los vehículos.
- A mayor altura disminuye el contenido de oxígeno en el aire, lo cual puede afectar sensiblemente la operación de los vehículos.

Con estos condicionantes, es principalmente en la época invernal cuando se produce la mayor cantidad de accidentes. En ello influyen las condiciones climáticas, el estado de las rutas y el continuo crecimiento en la cantidad de vehículos que circulan. La mayor dificultad aparece cuando la nieve depositada se convierte en hielo, lo cual genera una verdadera pista de patinaje. Por lo tanto, en esta época se deben extremar los recaudos para que los caminos no se tornen peligrosos.

Para reducir el alto riesgo generado por la presencia de hielo sobre la calzada y mitigar estos problemas se han realizado experiencias en países como EE.UU., Canadá y España acerca del uso de diversos productos consistentes en mezclas de sales disueltas y productos orgánicos. Dichos productos consisten principalmente en azúcares o melazas con propiedades tales como elevada solubilidad, bajo peso molecular, sin iones cloruros, adhesivos al pavimento y biodegradables.

En EE.UU. se utiliza un producto comercial diseñado para este fin, basado en el líquido residual remanente del proceso de extracción de azúcar desde las remolachas. No sólo es biodegradable, también reduce el uso del fundente químico (sal) hasta un 30%, tiene propiedades anticorrosivas y es efectivo hasta en $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los compuestos salinos disueltos más usados en EE.UU. son el Cloruro de Magnesio (MgCl_2), Cloruro de Calcio (CaCl_2) y Calcio Magnesio Acetato (CMA), que han resultado altamente efectivos para derretir la nieve y el hielo más rápido que las soluciones tradicionales de cloruro de sodio.

El Departamento de Tránsito (DOT) del estado norteamericano de Iowa también usa técnicas preventivas anti-hielo. Las investigaciones realizadas les permitieron comprobar que cada riego aplicado de solución anti-icing permitía reducir a un tercio la cantidad requerida de pasadas de equipos barrenieve. La Fundación de Investigación de Ingeniería Civil de EE.UU. ha declarado que el empleo de líquidos anti-icing es sumamente rentable, y se han demostrado ahorros de costo de los presupuestos estatales de hasta un 44%.

En Argentina, en el 4º Distrito Mendoza de la DNV se viene trabajando desde el año 2008 con soluciones anti-hielo. Se han realizado conjuntamente con la Universidad Nacional de Cuyo investigaciones específicas para determinar puntos de congelamiento de diversas mezclas, incorporando a la solución salina, productos derivados de la industria alimenticia (llamados genéricamente "vinazas"). En estos estudios se ha utilizado un método sencillo para la determinación del residuo salino en calzada, pero con la desventaja que requiere detener el tránsito durante algún tiempo, mientras se efectúa la recopilación de datos.

3. ASPECTOS CENTRALES ABORDADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

El objetivo del proyecto de investigación consiste en desarrollar estudios complementarios a los que se han llevado a cabo en la DNV, procurando ampliar su alcance, profundizar en determinados aspectos que no han sido evaluados en detalle en dichos estudios, y mejorar los procedimientos de toma de datos del residuo salino. En los siguientes puntos se abordan las temáticas bajo estudio dentro del proyecto en desarrollo.

3.1 Caracterización Físico-Química de Productos Orgánicos (Vinazas)

Como primera tarea, se planteó la necesidad de lograr un acabado conocimiento de las principales características de los residuos orgánicos (vinazas) que se utilizarían en esta investigación. Para ello, se llevó a cabo una serie de análisis para determinar la composición físico-química de los distintos productos agrícolas, evaluando aspectos tales como viscosidad, ionización, punto de congelamiento, contenido de azúcares y de pectinas, entre otros ensayos.

3.1.1 Determinaciones Físicas

Para la caracterización física de las muestras de vinaza se aplicaron los siguientes métodos, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1:

- Medición de conductividad y pH con pH-metro-Conductímetro Adwa AD800.
- Viscosidad con viscosímetro de Haake, computarizado.

Tabla 1– Caracterización Física de todas las muestras ensayadas

Muestra N°	Tipo de residuo	Densidad a 20 °C, g/l	pH	Conductividad mS/cm	Viscosidad, Cp	
					A 5°C	A 20 °C
1	Vinaza de caña de azúcar	1.0326	5.94	22.70	2.37	1.65
2	Vinaza concentrada *	1.2215	7.07	41.50	318.75	220.47
3	Extracto de pulpa de manzana	0.9982	5.00	1.11	9.19	7.34
4	Vinaza de pera Neuquén	1.0450	4.95	12.02	3.11	2.15
5	Vinaza de pulpa manzana Río Negro	1.0560	3.60	2.97	22.74	15.09
6	Vinaza de remolacha	1.0309	3.57	6.63	2.09	1.66
7	Vinaza de vino	1.0230	3.34	7.87	2.28	1.90
8	Cloruro de sodio 233 g/l	1.1449	---	----	2.28	1.90

*Fertilizante comercial

3.1.2 Determinaciones Químicas

Para la determinación química de todas las muestras de vinaza en estudio, se aplicaron los siguientes métodos:

- Los contenidos de azúcares se obtuvieron por métodos espectrofotométricos.

- El contenido de iones metálicos se determinó mediante Espectrofotómetro de absorción Atómica Shimadzu AA 700.

En la Tabla 2 se presentan los principales resultados obtenidos en los ensayos.

Tabla 2 – Caracterización Química de todas las muestras ensayadas

Muestra Nº	Tipo de residuo	Azúcares (g/l)		Pectina, g/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Na mg/l	K mg/l
		Reduc-tores	Total						
1	Vinaza de caña de azúcar	9.21	32.059	3,82	8.63	0.30	1.92	554.75	7355.25
2	Vinaza concentrada*	242.05	270.59	68,84	187.22	1.36	24.07	9222.50	43452.50
3	Extracto de pulpa de manzana	0.885	14.47	0,08	--	--	--	--	--
4	Vinaza Neuquén	23.7	97.56	1.05	0.64	0.18	3.53	538.13	3493.13
5	Vinaza Río Negro	28.1	148.00	3,48	1.47	0.86	0.46	406.25	1917.50
6	Vinaza de remolacha	56.725	74.12	0,02	ND	ND	ND	980.09	1890.76
7	Vinaza de vino	3.035	6.71	0,04	--	--	--	--	--

*Fertilizante comercial
ND: no detectable.

3.1.3 Análisis de resultados de los ensayos físico – químicos de las muestras

De los resultados presentados en Tablas 1 y 2, se concluye que la vinaza concentrada de caña de azúcar (Fertilizante comercial) presentaría una mayor capacidad de adherencia a la superficie regada, al poseer los valores más altos de viscosidad, contenido de azúcares y pectinas. Por otro lado, el pH de la vinaza concentrada es neutro, lo cual evitaría fenómenos de tipo corrosivo en las superficies donde se aplica, y su efecto en el suelo es beneficioso ya que se la utiliza como fertilizante.

Asimismo, presenta la más alta conductividad, asociada al contenido de iones en la solución, lo cual en principio debería contribuir al descenso del punto de congelamiento de una mezcla en la cual dicha sustancia estuviera combinada con sales disueltas. La presencia de iones en una solución provoca un descenso en el punto de congelamiento y si bien se mide en forma directa por espectrometría de absorción atómica, puede también ser detectada parcialmente al medir su conductividad.

En lo referente a la adherencia, la vinaza de caña de azúcar ocupa el segundo lugar en cuanto a los indicadores asociados, y luego vienen las vinazas de manzana y pera. No obstante, el ensayo efectuado no permite arrojar conclusiones definitivas sobre la mayor o menor conveniencia relativa entre las distintas muestras analizadas. Para establecer un orden jerárquico se hace necesario efectuar ensayos adicionales, que permitan

comprobar con mayor certeza estos resultados preliminares, y con los productos orgánicos actuando además en conjunto con las soluciones salinas.

3.2 Análisis de soluciones salinas

Si bien es conocido que el fundente químico más utilizado en la vialidad invernal es el cloruro de sodio, en esta investigación también se ha propuesto trabajar con otras sales como son el cloruro de calcio y el de magnesio.

3.2.1 Determinación del punto de congelamiento a la concentración eutéctica de distintas mezclas de sales

Para llevar a cabo este análisis en laboratorio se prepararon las siguientes soluciones:

- **Cloruro de Sodio/Agua**, composición eutéctica: NaCl 23,3% (p/p). La sal contiene 6% de impurezas.
- **Cloruro de Magnesio/Agua**, composición eutéctica: MgCl₂ 22% (p/p). La sal contiene 4% de impurezas.
- **Cloruro de Calcio/Agua**, composición eutéctica: CaCl₂ 29.87% (p/p). La sal contiene 4% de impurezas.

El punto de congelamiento se determinó por a través del descongelamiento progresivo de las soluciones, luego de haber sido llevadas a -80 °C. En primer lugar, se determinó este indicador para distintas proporciones de cloruro de sodio y cloruro de magnesio disueltos en agua, tal como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3 - Determinación del punto de congelamiento para las soluciones de cloruro de sodio y cloruro de magnesio en agua, mezclados en diferentes proporciones

Composición, % p/p		Temperatura de congelamiento, °C
NaCl-H ₂ O*	MgCl ₂ -H ₂ O*	
0	100	-32.0
100	0	-22.0
95	5	-21.5
90	10	-22.7
85	15	-23.2
80	20	-24.2
60	40	-27.2
40	60	-27.7
20	80	-27.9
10	90	-28.2

*Composición Eutéctica

Posteriormente, se realizó la determinación de puntos de congelamiento para distintas proporciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio disueltos en agua (Tabla 4), y

finalmente se efectuó el mismo ensayo probando distintas proporciones de cloruro de sodio mezclado con vinaza concentrada (Tabla 5).

Tabla 4 – Determinación del punto de congelamiento para la mezcla de cloruro de sodio y cloruro de calcio en agua, mezclados en diferentes proporciones

Composición, % p/p		Temperatura de congelamiento, °C
NaCl-H ₂ O *	CaCl ₂ -H ₂ O *	
0	100	-38.2
100	0	-22
95	5	-22.2
90	10	-23.2
85	15	-23.2
80	20	-23.2

* Composición Eutéctica

Tabla 5 – Determinación del punto de congelamiento para las soluciones de cloruro de sodio y vinaza concentrada, mezclados en diferentes proporciones

Composición, % p/p		Temperatura de congelamiento, °C
NaCl-H ₂ O *	Vinaza **	
100	0	-22.0
95	5	-22.2
90	10	-22.2
85	15	-20.9
80	20	-20.7
70	30	-20.5

* Composición Eutéctica

** Vinaza Concentrada comercial

3.2.2 Resultados del análisis de soluciones salinas con y sin Vinaza

Del análisis de los resultados presentados en las Tablas 3 a 5 se han podido obtener algunas conclusiones preliminares.

En primer lugar, en la Tabla 3 se puede apreciar que con mezclas de cloruros de sodio y magnesio las temperaturas de congelamiento comienzan a incrementarse sensiblemente cuando los contenidos de cloruro de magnesio en la mezcla superan al 10%, y crecen en proporción casi lineal con el contenido de Cl₂Mg hasta que se llega a un 40% de cloruro de magnesio en la mezcla, donde se alcanza un punto de congelamiento de -27,2 °C. Desde allí en adelante, no aporta mucho seguir incrementando el contenido de Cl₂Mg, ya que las temperaturas de congelamiento se estabilizan entre -27 y -28 °C. Todo esto se puede apreciar gráficamente en la Fig. 1, que reproduce parte de los contenidos presentados en la Tabla 3.

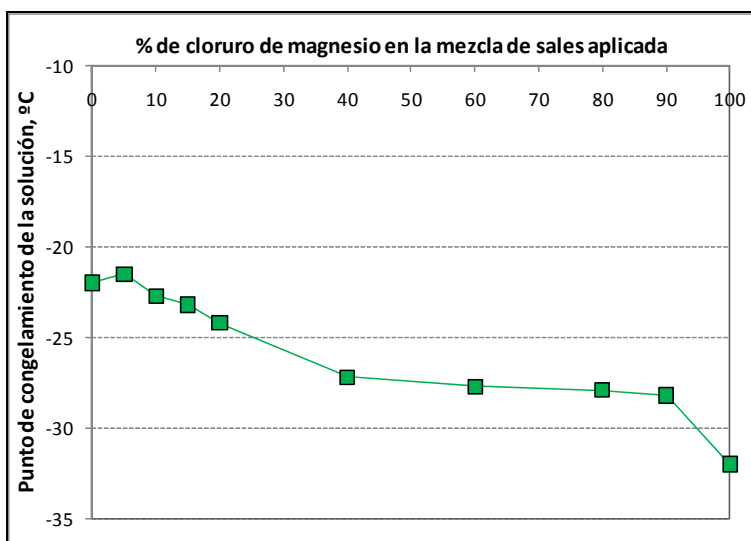


Figura 1 – Variación del punto de congelamiento de la solución en función de la proporción de cloruro de magnesio en la mezcla de sales $\text{ClNa} - \text{Cl}_2\text{Mg}$

Del análisis de la información presentada en la Tabla 4, analizando mezclas de cloruro de sodio y de calcio, se observa que las temperaturas de congelamiento para proporciones de hasta un 20% de cloruro de calcio se mantienen prácticamente constantes, con una variación no superior a 1 °C. Si bien sería esperable que comenzaran a descender sensiblemente a partir del incremento de la proporción de cloruro de calcio por encima del 20%, esto no se analizó en laboratorio en una primera instancia ya que en la práctica resulta antieconómico agregar tanto cloruro de calcio, salvo en instancias climáticas extremas. No obstante, se prevé realizar ensayos adicionales con contenidos de Cl_2Ca entre 40 y 80% en la mezcla con ClNa , para completar la curva de variación del punto de congelamiento en función del contenido de cloruro de calcio en la mezcla de sales.

Para el caso de la mezcla de cloruro de sodio con vinaza concentrada (Tabla 5), se puede apreciar que al incrementar la proporción de la vinaza en la mezcla no se producen reducciones significativas de la temperatura de congelamiento de la solución. Puede observarse incluso que al incorporar contenidos de vinaza por encima del 10% se comienza a elevar el punto de congelamiento de la solución, lo cual es contraproducente respecto al objetivo de la aplicación de este tipo de soluciones. Por lo cual, las mejoras esperables de la incorporación de la vinaza en la solución anti-hielo no estarán asociadas al descenso del punto de congelamiento, sino a su capacidad de lograr que el residuo salino permanezca más tiempo sobre la calzada.

En base a los resultados de este primer estudio de laboratorio se desprende que es razonable utilizar soluciones de cloruro de sodio hasta alcanzar temperaturas en el orden de los -22 °C, y que el agregado de otras sales recién comienza a ser conveniente con temperaturas de trabajo más bajas.

No obstante, también es importante destacar que estas temperaturas han sido medidas en condiciones de laboratorio, lo cual difiere de las condiciones reales en terreno donde las temperaturas de punto de congelamiento son más altas que las registradas en laboratorio, por lo cual todo lo observado debiera ser verificado y validado con estudios específicos en terreno.

3.3 Desarrollo de Equipo para medir residuo salino en calzada (MRS)

Como ya se dijo anteriormente, esta investigación surge debido al creciente uso de técnicas anti-hielo por parte de los Distritos de la DNV, y en función del conocimiento empírico aportado por estudios internacionales respecto a la existencia de productos orgánicos que contribuyen a mejorar la permanencia del fundente en calzada. En los estudios desarrollados por personal del 4º Distrito Mendoza de la DNV, según lo expresado en puntos precedentes, se ha evaluado el uso de un producto comercial derivado de la industria azucarera, denominado “vinaza concentrada”, que les permitiría prolongar el efecto de los riegos de salmuera y disminuir la cantidad de aplicaciones durante el período más crítico.

En dicho estudio, se implementó un método bastante sencillo y práctico para medir el residuo salino en calzada a intervalos predefinidos, tras la aplicación del riego anti-hielo en condiciones controladas. Al momento de tomar la muestra, se colocaba un trozo de tubo de PVC sobre la zona a muestrear, se aseguraba su estanqueidad mediante sello de silicona en el contacto con el pavimento, y se le inyectaba en el interior del tubo una cantidad definida de agua destilada (Fig 3). Se revolvía el líquido en el interior del tubo para disolver la sal remanente sobre la calzada, y luego se tomaba una muestra de 10 cc de dicho líquido, para proceder a medir el contenido de sales del mismo mediante ensayos de espectrometría.



Figura 3 – Medición de residuo salino en estudios realizados por personal del 4º Distrito Mendoza de la DNV

Como se ve en la Fig. 3, para realizar esta toma de muestras es necesario montar un operativo de seguridad y cerrar temporariamente la ruta al tránsito. Esta metodología implementada, si bien es muy confiable en cuanto a la calidad de los datos obtenidos, tiene la importante desventaja de interrumpir el tránsito. Por ello, se ha planteado la necesidad de desarrollar algún dispositivo para hacer estas mediciones en forma rápida, expeditiva y segura, buscando afectar lo menos posible a los usuarios de la vía.

En forma conjunta, y a partir del estudio detallado de distintas alternativas tecnológicas ya existentes en el mundo para realizar este tipo de mediciones, ingenieros de los Institutos de Biotecnología y de Automática de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ diseñaron 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. Dicho aparato se muestra en la Fig. 4.



Figura 4 – Aparato desarrollado en la investigación en curso para medir residuo salino

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 una serie de tubos de conexión que desembocan 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 del recinto, por lo cual llega con suficiente presión como para remover adecuadamente el residuo salino remanente sobre la calzada, pero además consta de una pequeña hélice para agitar aun más el líquido y favorecer la completa disolución del residuo salino. La conductividad eléctrica medida por el aparato a través del visor mostrado en la Fig. 4, se correlaciona posteriormente con el contenido de sales de la solución.

Es decir, el principio conceptual de la medición es básicamente el mismo que se ha utilizado en los estudios del 4º Distrito Mendoza, pero la técnica aplicada es mucho más expeditiva y segura dado que no requiere cortar 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. Sólo sería necesario cortar el tránsito cuando el flujo de vehículos sea prácticamente continuo, y ello de todas formas no duraría más que unos breves instantes.

3.4 Aplicaciones en Terreno

Como parte de los experimentos previstos en este proyecto de investigación, se realizarán diferentes pruebas de campo para medir la evolución de la cantidad de residuo salino remanente sobre una superficie pavimentada a medida que va pasando el tiempo después de aplicar un riego con solución anti-hielo. A tal efecto, se utilizará el dispositivo descrito en el punto anterior, el cual ha pasado por una primera etapa de calibración pero requiere una evaluación continua, para asegurar la calidad de sus mediciones. En lo que sigue, se denominará a dicho dispositivo con la sigla MRS (Medidor de Residuo Salino).

Las pruebas de campo previstas son tres, con el propósito de obtener resultados en terreno que permitan contrastar los datos obtenidos en laboratorio:

- Un primer grupo de mediciones en el acceso a la playa de maniobras del 9º Distrito San Juan de la DNV;
- Una segunda serie de mediciones en la R.N. Nº 20, Acceso Este a la ciudad de San Juan;
- Finalmente, se llevarán a cabo mediciones en determinados sectores de la R.N. Nº 7 en Punta de Vacas, Mendoza, que probablemente constituirá el conjunto de mediciones más importante, dado que esta es una de las zonas de mayor problemática invernal.

A la fecha de redacción de este artículo se alcanzaron a desarrollar las mediciones iniciales previstas en el acceso a la playa de maniobras del 9º Distrito San Juan de la DNV. A continuación se presentan los resultados preliminares obtenidos.

3.4.1 Experimentos realizados en Acceso a Playa del 9º Distrito DNV

El procedimiento para plasmar este ensayo, consistió en definir un tramo experimental, regarlo con tres tipos diferentes de mezclas anti-hielo disueltas en agua en diferentes sectores, y posteriormente utilizar el aparato MRS para medir la conductividad eléctrica que se registra en puntos específicos del área regada, como se muestra en la Fig. 5.

En esta oportunidad, se realizaron riegos de diferentes soluciones salinas durante la semana del 17/06/2013 al 24/06/2013 en el Acceso a Playa del 9º Distrito San Juan de la DNV. El experimento tuvo una duración de 7 días y por cada día se hicieron mediciones puntuales aleatoriamente distribuidas dentro del área abarcada por cada sector regado, en 3 momentos prefijados dentro de cada día. Las mediciones se llevaron a cabo con el MRS, durante los días 0, 1, 2 y 8, considerando que dicho acceso tiene tránsito permanente durante las horas laborales.

Para la determinación del tránsito pasante durante el tiempo en estudio, se colocó un contador de tránsito (Fig. 6). El mismo fue instalado desde el día Lunes 17/06/13 a las 10:00 hs, hasta el lunes siguiente (24/06) a las 10:00 hs, con la finalidad de contabilizar con precisión la cantidad de vehículos pasantes, y poder después analizar la incidencia del tránsito sobre la variación del contenido de sal residual sobre la calzada. En el período de estudio, se censaron finalmente 659 vehículos. En este primer experimento no fue posible diferenciar entre tipos de vehículos, ya que el contador de tránsito no puede hacer esta discriminación, a causa de la baja velocidad de circulación.



Figura 5 – Mediciones con MRS en el acceso a la playa de maniobras del 9º Dist. DNV

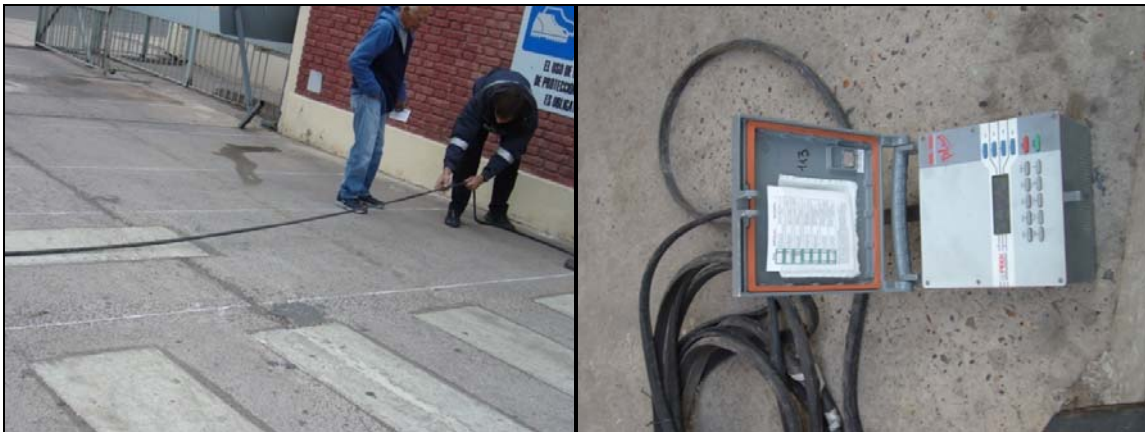


Figura 6 – Colocación de medidores de tránsito en el sitio del experimento

En la Tabla 6 se exponen los resultados de las mediciones diarias de tránsito durante el período de estudio:

Tabla 6 – Resultados de mediciones y conteos diarios de tránsito, acceso 9º Dist. DNV

Día	Lunes 17	Martes 18	Miércoles 19	Jueves 20	Viernes 21	Sábado 22	Domingo 23	Lunes 24	659 veh/día = 100 %
Veh./ Día	153	170	185	34	46	16	10	45	

Día y horarios con mayor frecuencia vehicular:

Día: Lunes 17	10 a 11 a.m	26 veh.	3,95 %	659 veh/ día = 100 %
	13 a 14 p.m.	25 veh.	3,79 %	

Para verificar la incidencia de la incorporación de dos tipos diferentes de vinazas sobre las soluciones anti-hielo, se decidió preparar los siguientes riegos:

Congreso Internacional, Mantenimiento Invernal, Andorra 2014

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

Las superficies regadas fueron tres sectores diferentes con calzada de hormigón, de 1,50 m por 7,00 m cada uno, sobre los cuales se aplicó 1 litro de solución en cada caso, es decir se regó 1 lt de solución en 10.50 m², lo cual es coherente con la práctica habitual en estos casos.

3.4.2 Mediciones efectuadas sobre las superficies tratadas

En cada día se realizaron 3 mediciones de conductividad eléctrica con MRS en diferentes horarios y lugares en cada sector tratado con diferente tipo de solución, y se promediaron los valores medidos de manera de obtener un único valor representativo por día de medición. En la Tabla 7 se presentan los valores medios diarios por día y sector tratado.

Tabla 7 – Resultados de mediciones efectuadas utilizando el dispositivo MRS

Tipo de solución	Día de medición	Fecha	Estado del Tiempo	Conductividad media (mA)
Nº 1: Salmuera pura de cloruro de calcio	Día 0 - Lunes	17/06/2013	Nublado	5.81
	Día 1 - Martes	18/06/2013	Despejado	9.61
	Día 2 - Miércoles	19/06/2013	Nublado	5.81
	Día 8 - Lunes	24/06/2013	Despejado	2.00
Nº 2: 90% de Salmuera + 10% de Vinaza Concentrada	Día 0 - Lunes	17/06/2013	Nublado	14.19
	Día 1 - Martes	18/06/2013	Despejado	8.33
	Día 2 - Miércoles	19/06/2013	Nublado	11.40
	Día 8 - Lunes	24/06/2013	Despejado	3.33
Nº 2: 90% de Salmuera + 10% de Vinaza Residual de Vino	Día 0 - Lunes	17/06/2013	Nublado	12.94
	Día 1 - Martes	18/06/2013	Despejado	6.33
	Día 2 - Miércoles	19/06/2013	Nublado	7.95
	Día 8 - Lunes	24/06/2013	Despejado	4.70

En las Figuras 7 a 9 se presentan las gráficas de evolución del residuo salino medido (expresado en términos de conductividad media diaria registrada por el aparato), con líneas de tendencia de tipo exponencial para tratar de ajustar los datos observados, indicando los parámetros estadísticos correspondientes.

En dichas figuras se puede observar que, en términos generales, 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, lo cual puede deberse a causas que todavía deben analizarse con mayor detalle, pero debe tenerse en cuenta que se trata de las primeras pruebas en terreno con un aparato recientemente desarrollado, al cual deben efectuársele todavía varios ajustes para mejorar la confiabilidad en su funcionamiento.

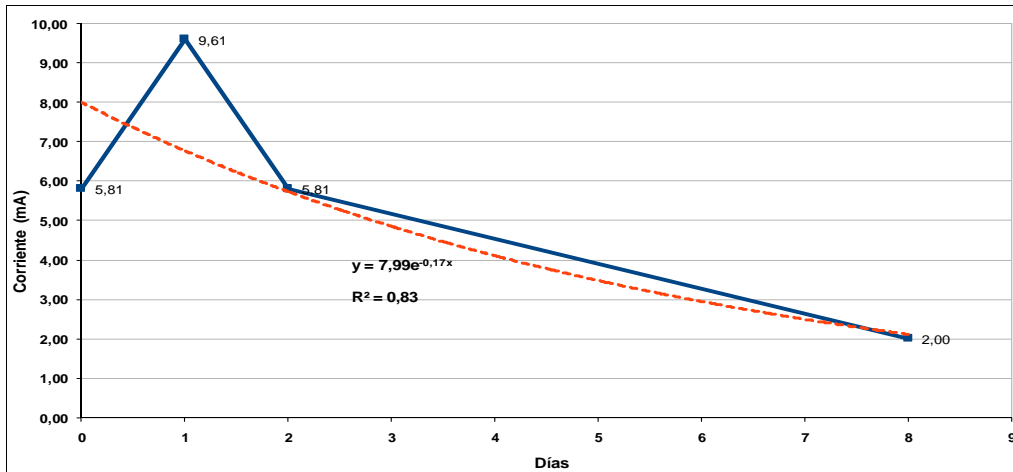


Figura 7. Evolución de las mediciones, solución N° 1 salmuera pura de ClNa

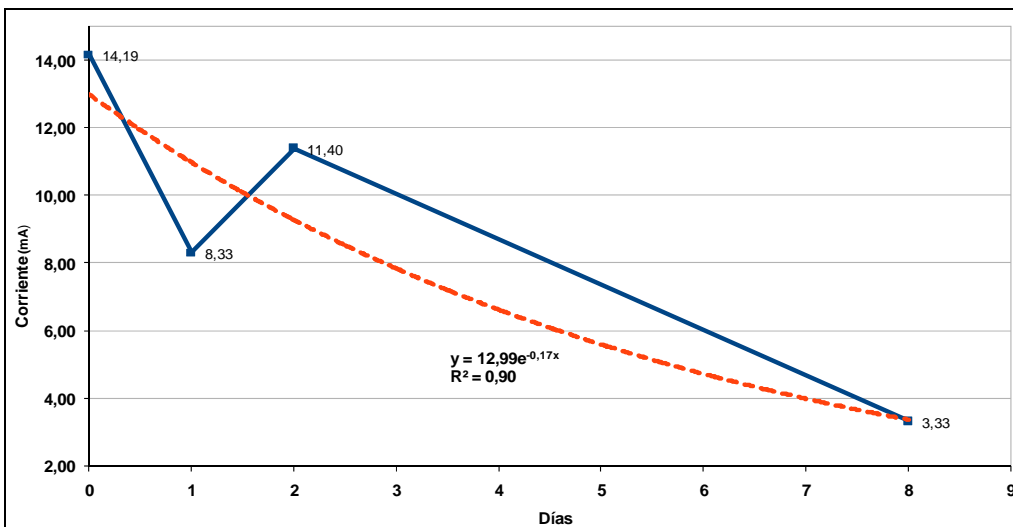


Figura 8. Evolución de las mediciones, solución N° 2 con vinaza concentrada

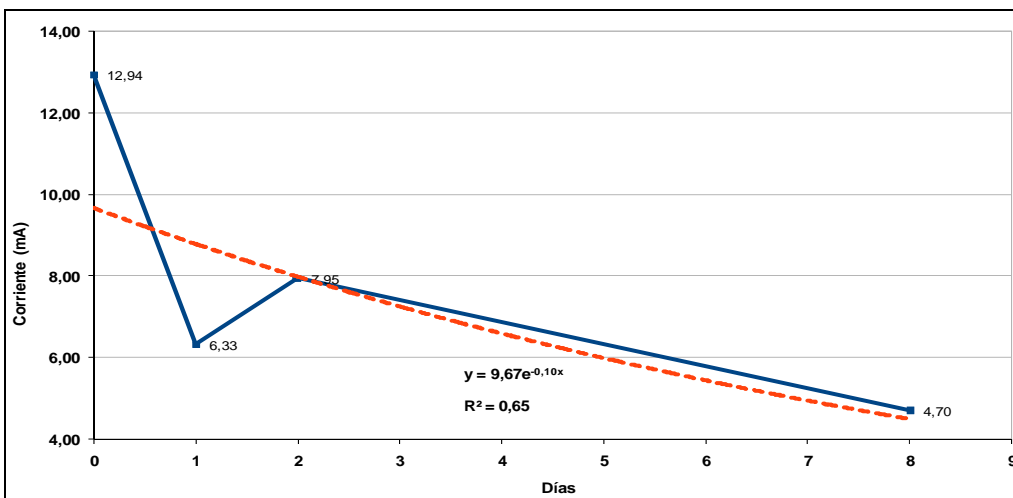


Figura 8. Evolución de mediciones, solución N° 2 con vinaza residual de vino

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. Todo este debe seguirse analizando en procura de obtener una metodología lo más depurada y estandarizada posible, dentro de las limitaciones propias del estudio.

De todas formas, además de la tendencia decreciente, también fue posible detectar, recalcando que se trata de mediciones preliminares, que la incorporación de vinazas permite en el largo plazo mantener una mayor cantidad de residuo 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), en relación al valor registrado para la salmuera pura de ClNa. Pese a que es necesario confirmar esta tendencia con mediciones complementarias, es un resultado en principio alentador respecto a los objetivos planteados para el proyecto, en el sentido de demostrar en forma preliminar la utilidad de aplicar compuestos orgánicos para prolongar la permanencia del residuo salino sobre la calzada.

Asimismo, en base a estos mismos resultados, en principio la vinaza de vino presentaría un comportamiento un poco mejor que la vinaza concentrada de caña de azúcar, pero no se puede todavía afirmar que esto marque una clara tendencia a favor de la vinaza de vino, debiendo realizarse nuevos ensayos para verificar este comportamiento observado.

4. CONSIDERACIONES FINALES

En la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, se está llevando adelante un proyecto de investigación a través del cual se pretende profundizar y complementar resultados de estudios desarrollados por el 4^o Distrito Mendoza de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) en Argentina, que indican que la incorporación de productos orgánicos locales (Vinaza) permite incrementar la duración de los fundentes salinos aplicados en solución sobre la calzada como técnicas de prevención de formación de hielo, mejorando sensiblemente su rendimiento a través del tiempo.

Para ampliar el conocimiento de este tipo de productos, se ha realizado un primer análisis de caracterización físico-química sobre diferentes tipos de productos orgánicos, con la intención de mejorar la comprensión de los fenómenos que definen las condiciones de adherencia de los compuestos a la superficie pavimentada. En tal sentido, los resultados obtenidos indican que el producto constituido por vinaza residual concentrada proveniente del procesamiento de la caña de azúcar presenta los mejores valores de parámetros medidos, en términos de indicadores de viscosidad, azúcares y pectinas, lo que permitiría deducir que dicho compuesto debería mostrar una mayor adherencia al ser aplicado en terreno como parte de una solución salina anti-hielo.

Asimismo, se han evaluado combinaciones de compuestos salinos y productos orgánicos disueltos en proporciones variables, para determinar la variación del punto de congelamiento de dichas soluciones. La incorporación de sales de cloruro de magnesio y cloruro de calcio en soluciones base de cloruro de sodio permite reducir la temperatura de congelamiento, lo cual es positivo desde el punto de vista de la técnica invernal, pero hasta cierto punto; al menos en el caso de la mezcla de cloruro de sodio con cloruro de magnesio, se pudo apreciar que una proporción mayor al 40% de cloruro de magnesio no produce un descenso adicional significativo del punto de congelamiento de la solución, y no tendría entonces sentido incorporar más cantidad de dicho producto a costa de encarecer notoriamente el costo de la solución, ya que las sales de cloruro de magnesio

son bastante más costosas que las sales de cloruro de sodio, al menos dentro del mercado argentino.

Asimismo, la incorporación de vinaza dentro de las soluciones anti-hielo no contribuye a mejorar el punto de congelamiento de las mismas, y por encima de un 10% incluso produce un incremento de la temperatura de congelamiento, lo cual es un efecto contraproducente.

Dentro de las actividades realizadas hasta el momento de redactar este trabajo dentro del proyecto de investigación, también se ha diseñado y puesto a punto un aparato de medición, MRS 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.

La aplicación de este aparato en una primera serie de mediciones ha permitido constatar, sujeto a posteriores validaciones con nuevas mediciones, que efectivamente la cantidad de residuo salino sobre la calzada va disminuyendo en el tiempo, y también que en esta primera etapa la incorporación de vinazas permitiría 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 con salmuera pura de ClNa.

4.1 Próximas Etapas

Siguiendo lo originalmente previsto, se prevé llevar a cabo una segunda prueba de campo, en la R.N. N° 20, Acceso Este a la provincia de San Juan, y posteriormente una tercera prueba en la Ruta Nac. N° 7, en la zona de punta de Vacas, Mendoza, donde se trabaja con el equipo disponible en la zona, planta automática para elaborar mezclas y camión regador de última generación.

Además dentro de la investigación en curso y como complemento de la misma, está previsto realizar determinaciones de contenido de sal en zonas de banquetas (arcenes) y préstamos laterales, a fin de analizar el impacto ambiental de los tratamientos con fundentes químicos luego de la temporada invernal.

REFERENCIAS

- 1) Dr. Ing. Nixon Wilfrid, Lecciones sobre Mantenimiento Invernal, Universidad de IOWA, EE.UU., febrero de 2008.
- 2) Guía para el Control de Hielo y Nieve, AASHTO.
- 3) Manual para el Diseño de Cercas para Nieve, Adm. Federal de Caminos de EE.UU.
- 4) Manual of Practice for Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance.
- 5) "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.