

Estudio para determinar la dosificación más eficiente de fundentes en los Tratamientos Preventivos de Viabilidad Invernal y establecer un nuevo protocolo de operaciones.

- **VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO**
- Jaime López-Cuervo Abad & José I. Cuñado Arroyo
- Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid, Ministerio de Fomento
- vvilanova@fomento.es

ANTONIO J. TOCINO & F. JAVIER DORADO
Ferrovial Servicios España
atocino@ferrovial.com & fjavier.dorado@ferrovial.es



ferrovial
servicios
d·nota VAISALA

1. INTRODUCCIÓN

CARACTERÍSTICAS DE LA RED ESPAÑOLA:

- Red de gran capacidad: 11.249 km (44%)
- Carreteras convencionales: 14.484 km (56%)
- N° de sectores: 160
- Medios disponibles: > 1.000 quitanieves
- Consumo de fundentes: **160.000 Tn sal/año**



OBJETIVO DEL ESTUDIO

NECESIDAD DE MEJORAR LA EFICIENCIA EN LOS TRATAMIENTOS PREVENTIVOS:

•Elaborar un protocolo (estrategia) que incluya unas recomendaciones que determinen:

1. Distribuir el fundente en el momento apropiado basándose en:
 - Mapas térmicos
 - Previsiones meteorológicas.
2. Determinar la dosificación y cuando debe repetirse el tratamiento en función de:
 - Condiciones meteorológicas previstas y sucedidas
 - Tráfico circulado
 - Tipo de fundente

FASES DEL ESTUDIO

FASE I: METEOROLOGIA

1. Mapas térmicos

2. Predicciones

FASE II: ENSAYOS Y PRUEBAS

1. Descripción.

2. Ensayos eficiencia de fundentes en laboratorio.

3. Calibración de equipos.

4. Elección del tramo de prueba

5. Ensayos y maquinaria de control.

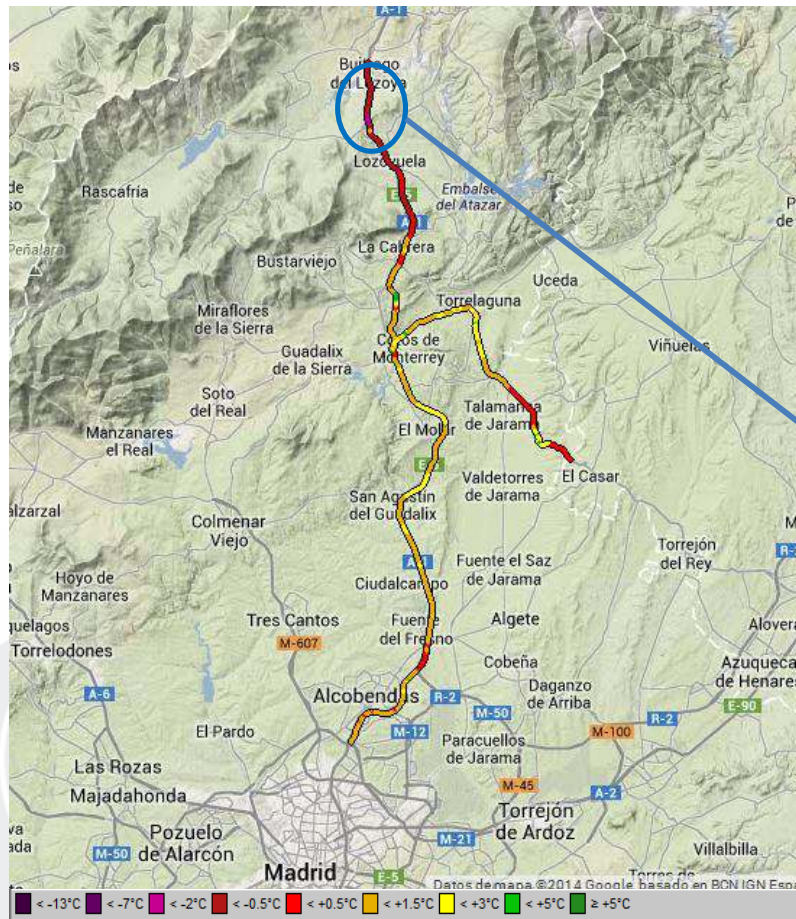
6. Ensayos de determinación de la efectividad de los tratamientos.

FASE I: METEOROLOGÍA

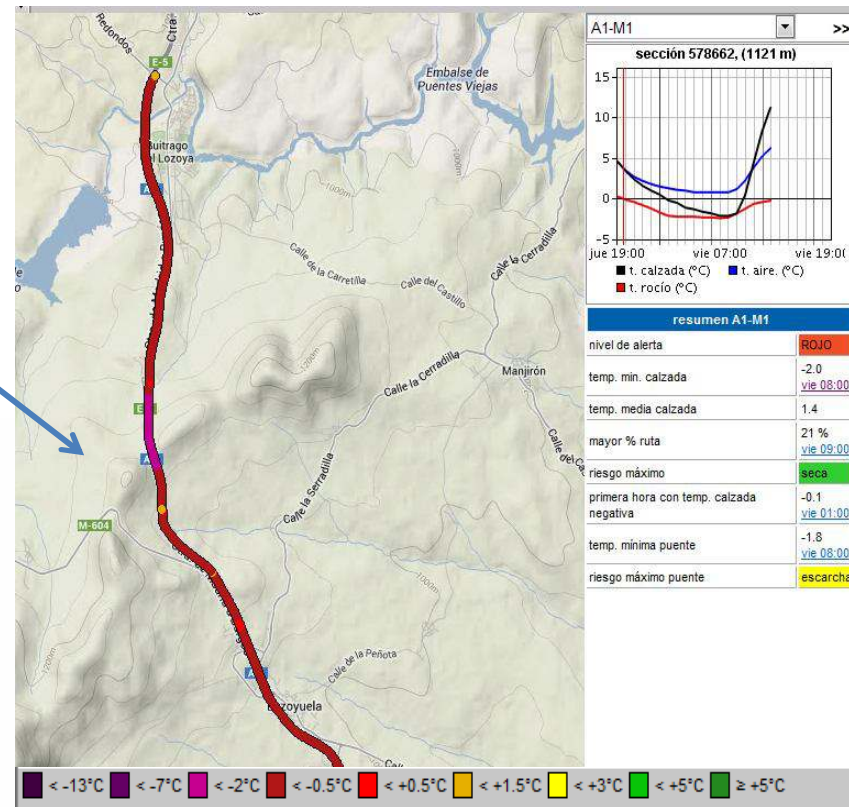


1. MAPA TÉRMICO

MAPA TÉRMICO:



- Optimización de las zonas de actuación



2. PREDICCIONES METEOROLÓGICAS (I)

Pronósticos a 24 horas

miércoles, 29 ene 18:42:04 [pronóstico a 24 horas](#) [tabla](#) [gráfica](#) [mapa](#)

Somosierra - 1500m

tabla publicado: miércoles 29 enero 18:24

fecha hora	situación atmosférica	precip. prob. (%)	precip. (mm/h)	temp 1.5m (°C)	calzada		punto de rocío	humedad relativa (%)	visibilidad (km)	nubosidad (8/8)	dirección viento	velocidad viento (km/h)	rachas viento (km/h)	cota de nieve (m)
					temp (°C)	estado								
miércoles 29 enero 2014														
19:00	nublado	55	0.1	-1.2	1.5	hu	-1.9	95	5	6/8	↓ n	7.4	14.6	1029
20:00	nubes y claros	10	<0.1	-1.3	0.9	hu	-2.1	94	7	5/8	↘ nno	7.4	15.7	1007
21:00	nubes y claros	20	<0.1	-1.4	0.5	hu	-2.2	95	8	4/8	↘ nno	9.3	16.9	973
22:00	nubes y claros	30	<0.1	-1.7	0.3	hu	-2.1	97	10	4/8	↘ nno	9.3	18.1	932
23:00	poco nuboso	20	<0.1	-1.9	-0.1	hn	-2.3	97	12	3/8	↘ nno	9.3	18.3	897
jueves 30 enero 2014														
00:00	poco nuboso	10	<0.1	-2.1	-0.5	hn	-2.7	96	14	2/8	↘ nno	9.3	18.1	862
01:00	despejado	0	0.0	-2.4	-0.9	hn	-3.2	94	14	1/8	↘ nno	9.3	18.5	825
02:00	despejado	0	0.0	-2.5	-1.2	hn	-3.5	93	14	1/8	↘ nno	9.3	18.9	782
03:00	poco nuboso	5	<0.1	-2.6	-1.3	hn	-3.4	94	13	2/8	↘ nno	9.3	19.6	740
04:00	poco nuboso	5	<0.1	-2.6	-1.5	hn	-3.3	95	12	2/8	↘ nno	9.3	19.8	701
05:00	nubes y claros	15	<0.1	-2.7	-1.5	hn	-3.3	96	9	5/8	↘ nno	9.3	20.0	677
06:00	nevadas débiles	20	0.1	-2.9	-1.3	ni	-3.4	96	7	7/8	↘ nno	9.3	19.6	661
07:00	cubierto	25	<0.1	-3.0	-1.2	hn	-3.5	96	5	8/8	↘ nno	9.3	18.7	652
08:00	cubierto	30	<0.1	-3.0	-1.3	hn	-3.5	96	5	8/8	↘ nno	9.3	17.4	643

2. PREDICCIONES METEOROLÓGICAS (II)

Pronósticos a 5 días

miércoles, 29 ene 18:49:59 pronóstico a 5 días tabla gráfica

Somosierra - 1500m

resumen

pronóstico a 24 horas

pronóstico a 5 días

pronóstico a 15 días

pronóstico a 30 días EPS

datos reales

mapa térmico

radar

radar acumulada

imágenes de satélite

mapas ES

mapas EU

tabla publicado: miércoles 29 enero 18:49

fecha hora	situación atmosférica	precip. prob. (%)	precip. (mm/3h)	temp 1.5m (°C)	calzada		punto de rocío	humedad relativa (%)	visibilidad (km)	nubosidad (8/8)	dirección viento	velocidad viento (km/h)	rachas viento (km/h)	cota de nieve (m)
					temp. (°C)	estado								
miércoles 29 enero 2014														
22:00	nubes y claros	30	0.1	-1.7	0.3	hu	-2.1	97	10	4/8	nno	9.3	18.1	932
jueves 30 enero 2014														
01:00	despejado	0	0.0	-2.4	-0.9	hn	-3.2	94	14	1/8	nno	9.3	18.5	825
04:00	poco nuboso	5	0.0	-2.6	-1.5	hn	-3.3	95	12	2/8	nno	9.3	19.8	701
07:00	cubierto	25	0.3	-3.0	-1.2	hn	-3.5	96	5	8/8	nno	9.3	18.7	652
10:00	nublado	35	0.2	-2.8	-0.9	hn	-3.0	99	4	7/8	nno	7.4	16.5	660
13:00	nublado	30	0.2	-1.1	1.2	hu	-1.9	94	5	7/8	nno	9.3	18.3	820
16:00	nublado	25	0.2	-0.3	1.8	s	-1.3	93	6	7/8	no	9.3	19.1	962
19:00	nublado	15	0.1	-0.3	1.0	s	-1.6	90	7	6/8	no	11.1	19.3	1072
22:00	nevada d o bil intermitente	30	0.8	-0.3	-0.1	ni	-1.3	93	11	6/8	ono	11.1	19.8	1141
viernes 31 enero 2014														
01:00	nevadas d o biles	50	2.3	0.2	0.0	ni	-0.1	97	14	7/8	ono	11.1	22.6	1151
04:00	nevadas d o biles	20	1.2	0.6	0.6	ni	0.5	99	12	8/8	ono	9.3	21.1	1290
07:00	nevadas d o biles	60	1.9	0.4	0.2	ni	0.4	100	6	8/8	ono	7.4	15.4	1365

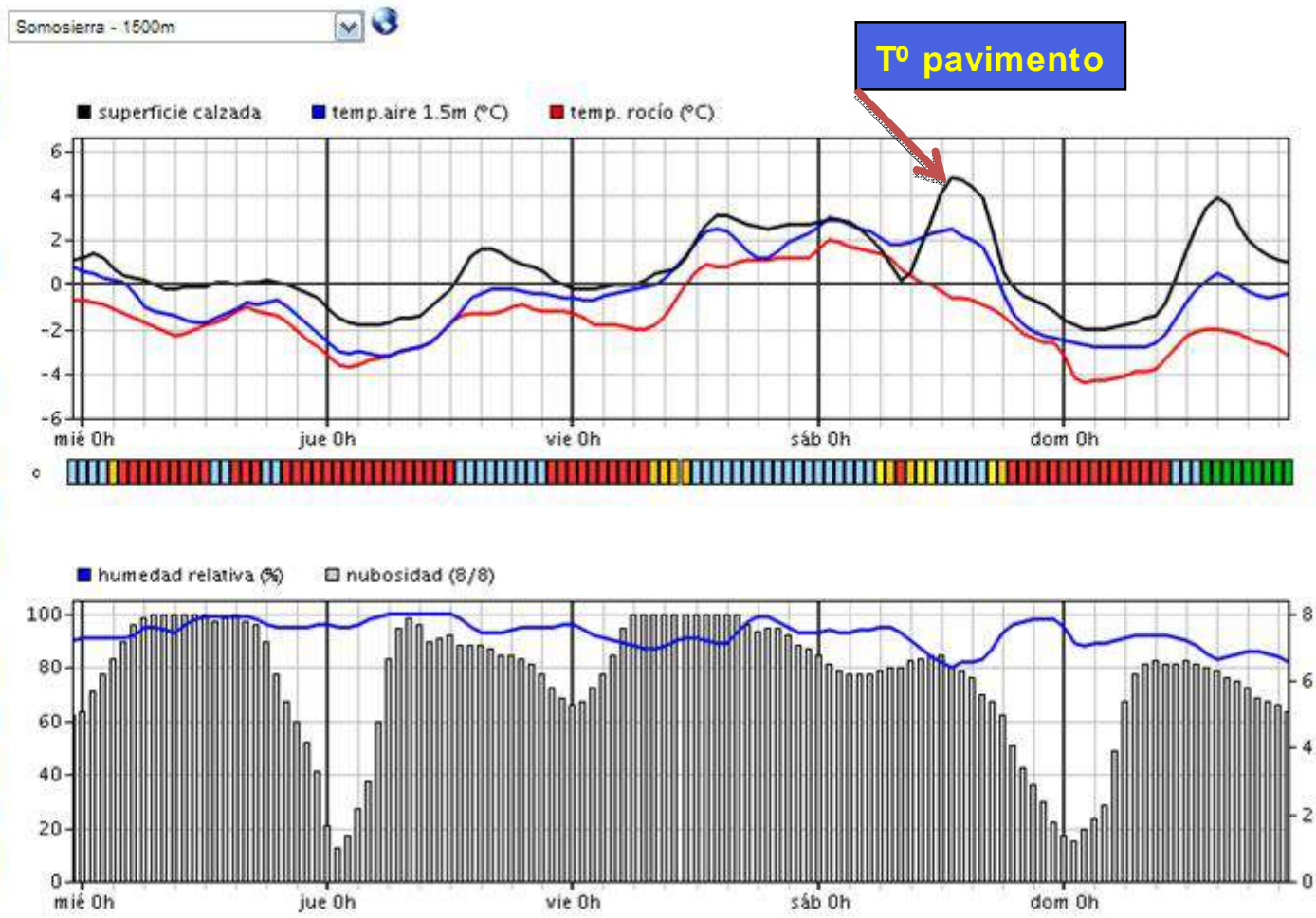
2. PREDICCIONES METEOROLÓGICAS (III) Pronósticos a 15 días

tabla publicado: martes 28 enero 22:48

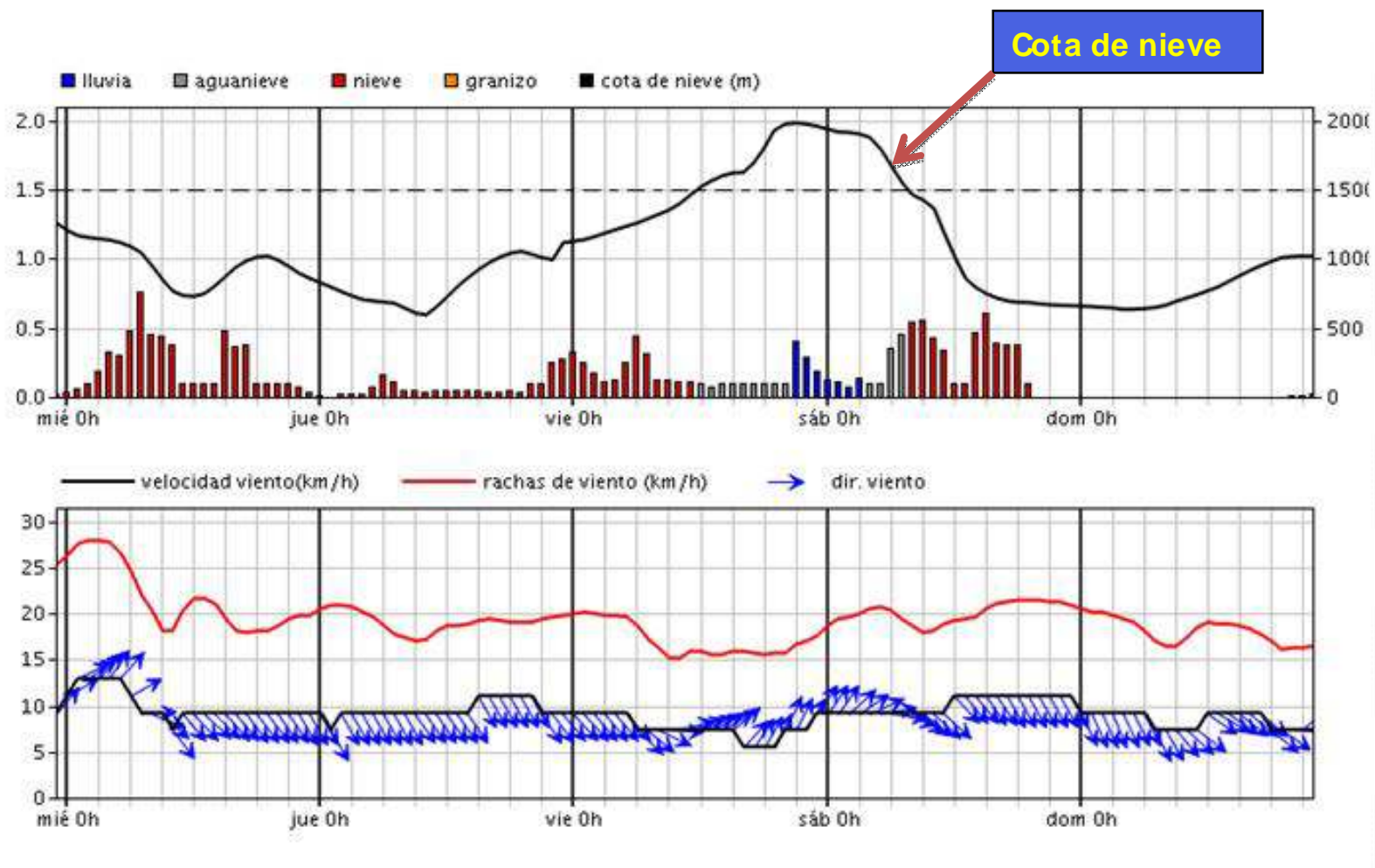
fecha	situación atmosférica	precip. prob. (%)	prob. nieve (%)	Probabilidad de lluvia engelante	precip. (mm/12h)	nieve (cm/12 hora)	cota de nieve (m)	temp min. 1.5m (°C)	temp max. 1.5m (°C)	calzada			nubosidad media	dirección viento	velocidad viento (km/h)	rachas viento (km/h)	orto/ocaso
										Tmin calzada	peor Situación	Tmax calzada					
mié 29 07:00 - 19:00	nevada moderada	90	90	0	3.9	3.4 - 5.3	729	-1.7	-0.1	-0.2	ni	0.2	8/8	no	2	22	08:28
mié 29- jue 30 19:00 - 07:00	nevada d'obil intermitente	45	45	0	0.9	0.8 - 1.4	678	-4.1	-0.7	-1.8	hn	0.1	4/8	nno	2	21	18:26
jue 30 07:00 - 19:00	nublado	40	40	0	0.6	0.6 - 1.7	595	-3.0	0.5	-1.5	ni	1.8	7/8	nno	2	19	08:27
jue 30- vie 31 19:00 - 07:00	nevada d'obil intermitente	30	30	5	0.4	0.4 - 1.0	996	-1.7	-0.1	0.3	hu	0.8	6/8	no	2	19	18:28
vie 31 07:00 - 19:00	nevadas d'obiles	70	70	5	1.6	0.3 - 0.6	1299	-0.1	3.5	0.6	ni	3.4	8/8	oso	2	17	08:26
vie 31- sáb 01 19:00 - 07:00	aguanieve	80	35	0	2.4	0 - 0.1	1578	0.9	3.0	1.8	an	3.0	7/8	sw	2	21	18:29

EJEMPLO GRÁFICA PREDICCIÓN 5 DÍAS

- resumen
- pronóstico a 24 horas
 - tabla
 - gráfica
 - mapa
- pronóstico a 5 días
 - tabla
 - gráfica
- pronóstico a 15 días
 - tabla
- pronóstico a 30 días EPS
- datos reales
- mapa térmico
 - tabla
 - mapa
- radar
- radar acumulada
- imágenes de satélite
- mapas ES
- mapas EU



EJEMPLO GRÁFICA PREDICCIÓN 5 DÍAS (CONT.)



FASE II: ENSAYOS Y PRUEBAS



FASE II

PROGRAMA DE ENSAYOS Y PRUEBAS:

1. Ensayos eficiencia de fundentes en laboratorio: 

2. Calibrar camiones: 

3. Elección lección del tramo de prueba: 

4. Ensayos a realizar y maquinaria de control a emplear: 

5. Ensayos de tramo variando el tipo de fundente, dosificaciones y el periodo de repetición: **EJECUTADO PARCIALMENTE Y NO FINALIZADO POR FALTA DE CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.**

1. DESCRIPCIÓN

OBJETIVOS:

- Confirmación en laboratorio de la eficacia de los fundentes utilizados.
 - NaCl sólido.
 - Salmuera de NaCl.
 - NaCl sólido prehumidificado con salmuera.
- Comprobación de la calibración de los equipos.

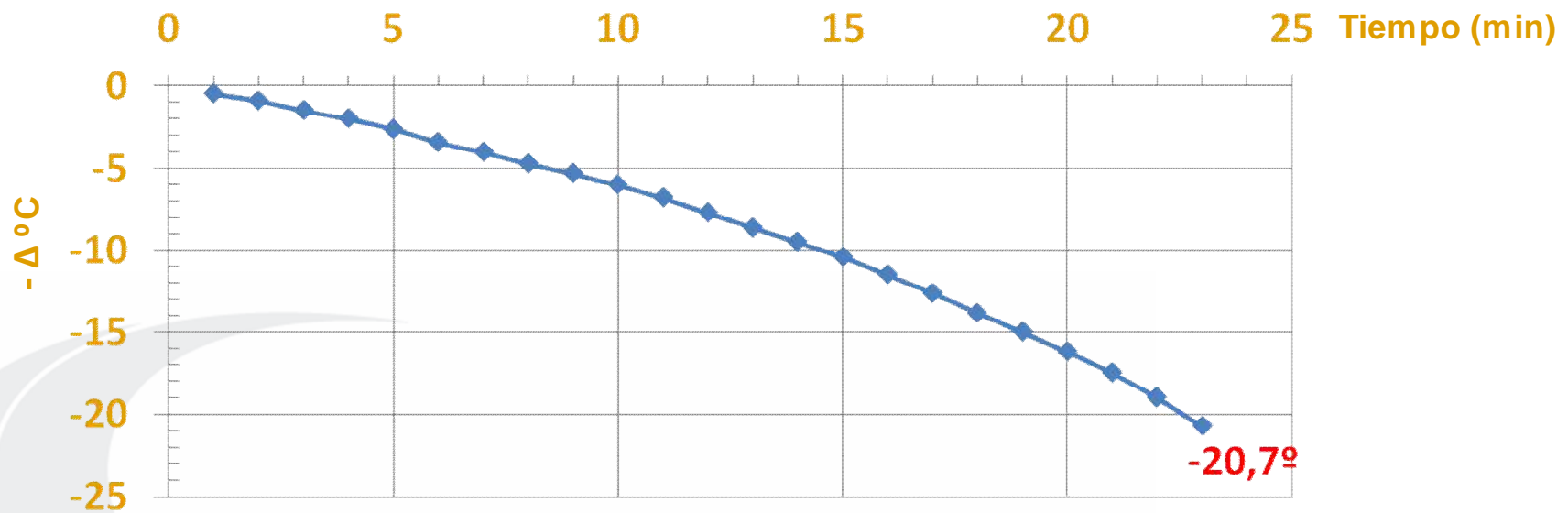


- Justificación de la eficacia de tratamientos preventivos empleados.
- Optimización de los tratamientos preventivos.

2. ENSAYOS EFICIENCIA DE FUNDENTES EN LABORATORIO

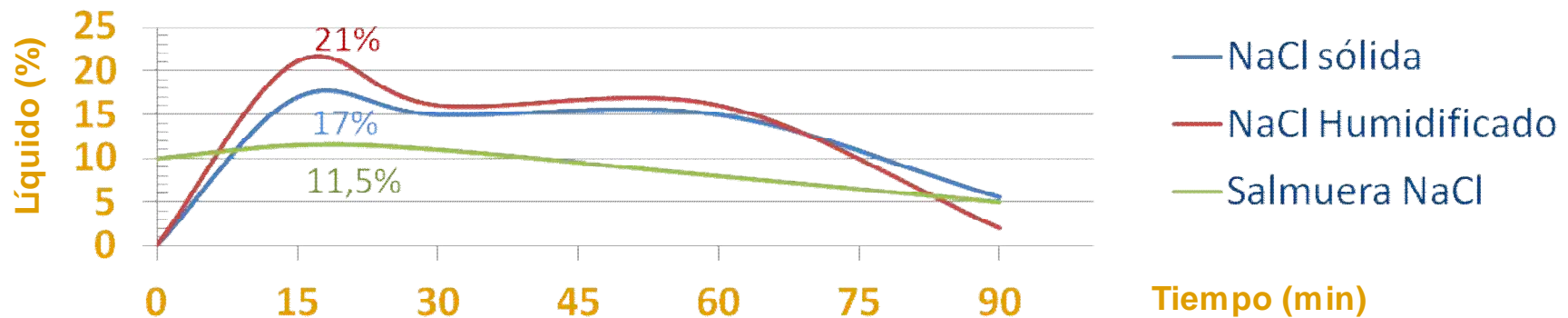
RESULTADOS:

- Análisis Térmico: determinación del punto de congelación.
 - T^a de congelación de salmuera de NaCl (gradiente -1°/min):

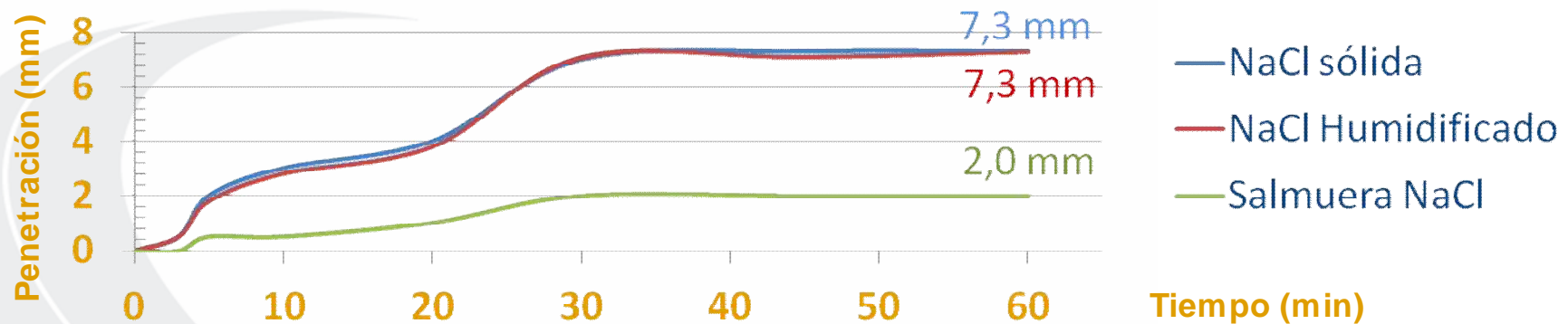


2. ENSAYOS EFICIENCIA DE FUNDENTES EN LABORATORIO

- Ensayo de Fusión de Hielo: determinar la capacidad de fusión. (-10°C)



- Ensayo de Penetración: determinar la profundidad a la que llega el fenómeno de la fusión inducida en el hielo. (-10°C)



3. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

CANTIDAD DE FUNDENTE

- Dosificaciones reales (gr/m²) tratamientos preventivos.

EQUIPOS DE FUNDENTES SÓLIDOS Y HUMIDIFICADO:



Prueba en Parado



Prueba con variación
de ancho extendido



Prueba en Movimiento

3. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

RESULTADOS:

DATOS INICIALES SIMULADOS PARA LA PRUEBA					RESULTADOS OBTENIDOS			
Nº PRUEBA	PARÁMETROS INICIALES			TIEMPO	PESO	PESO REAL (kg)	DOTACIÓN	
	DOTACIÓN (gr/m ²)	ANCHO (m)	VELOCIDAD (Km/h)	(min)	TEÓRICO (kg)		REAL (gr/m ²)	% ERROR
Prueba en parado:								
1	15	5	30	1,5	56,25	72,3	19,28	-28,53%
2	15	5	30	1,5	56,25	58,60	15,63	4,18%
3	15	5	30	1,5	56,25	56,30	15,01	-0,09%
Prueba en parado con variación de ancho de extendido:								
4	15	4,5	30	1,5	50,63	50,40	14,93	0,44%
Prueba en movimiento:								
5	15	5	30	1,5	56,25	57,5	15,33	2,17%



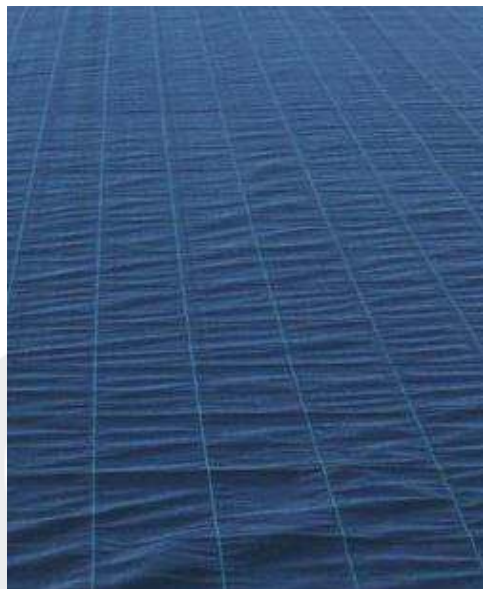
3. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

DISTRIBUCIÓN DE FUNDENTE

- Distribución real del fundente en el ancho de la calzada.

EQUIPOS DE FUNDENTES SÓLIDOS:

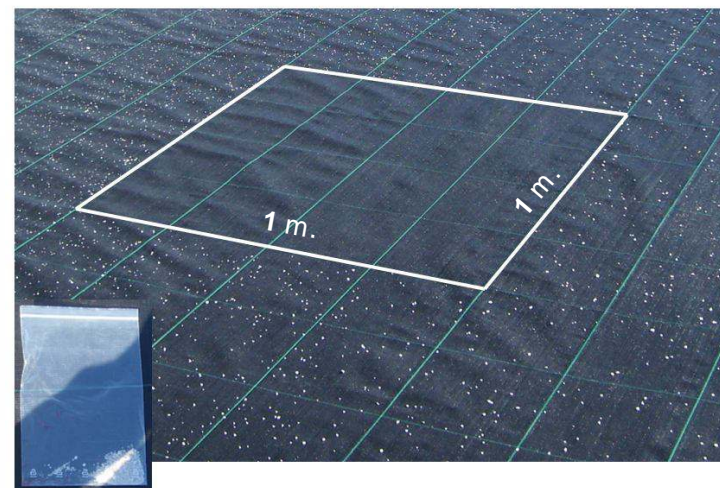
Superficie sin tratamiento



Superficie tras el tratamiento



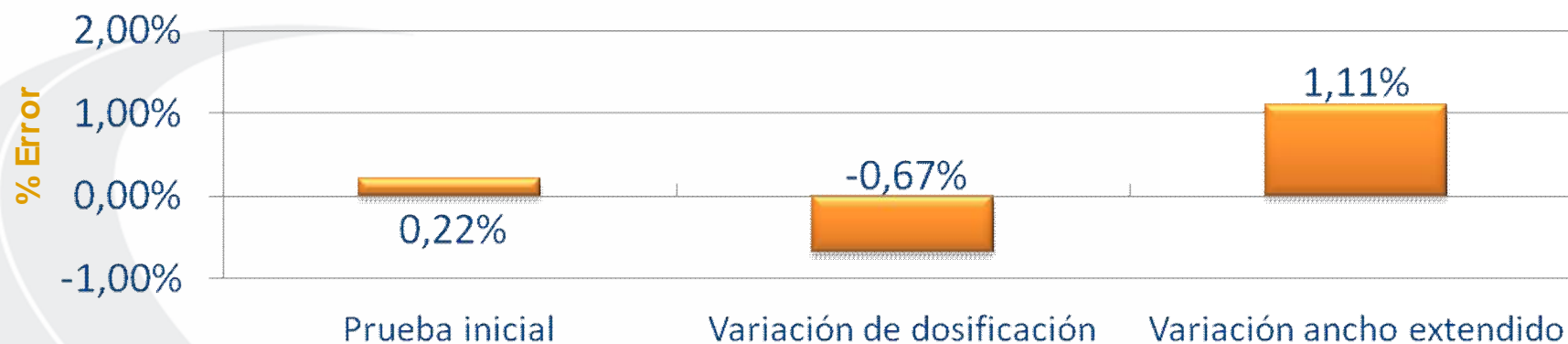
Dosificación recogida en 1 m²



3. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

RESULTADOS:

DATOS INICIALES SIMULADOS PARA LA PRUEBA				RESULTADOS OBTENIDOS			
Nº PRUEBA	PARÁMETROS INICIALES			DOTACIÓN			
	DOTACIÓN (gr/m ²)	ANCHO (m)	VELOCIDAD (Km/h)	Arcén REAL (gr/m ²)	Carril Derecho REAL (gr/m ²)	Carril Izquierdo REAL (gr/m ²)	Total % ERROR
Prueba inicial							
1	15	7,5	30	15,2	15,5	14,9	1,33%
2	15	7,5	30	15,8	15,3	14,8	0,22%
Prueba con variación de dosificación:							
3	20	7,5	30	20,2	20,6	19,6	-0,67%
Prueba con variación de ancho de extendido:							
4	15	10	30	15,1	15,6	14,8	-1,11%



3. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

EQUIPOS DE FUNDENTE LÍQUIDOS:

- Calibración fue realizada por **personal técnico oficial del fabricante.**



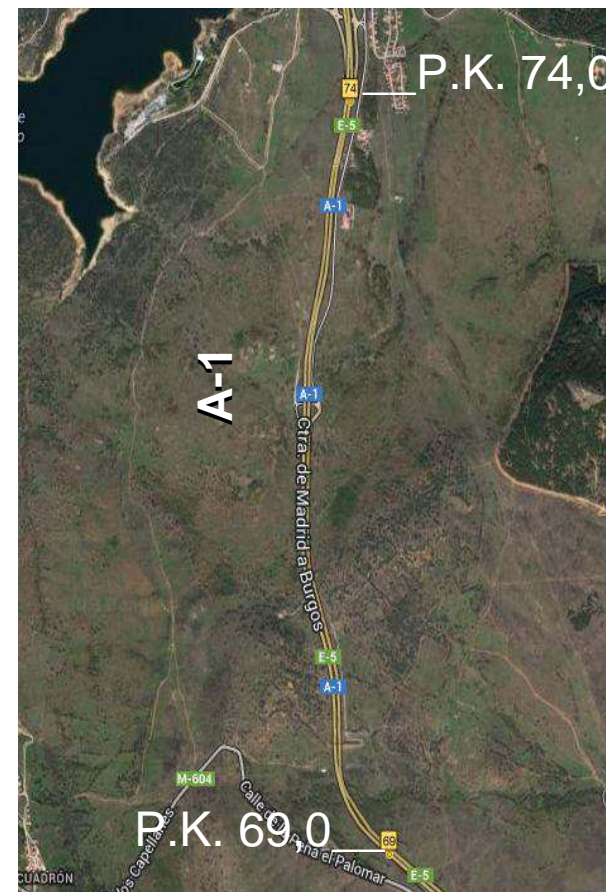
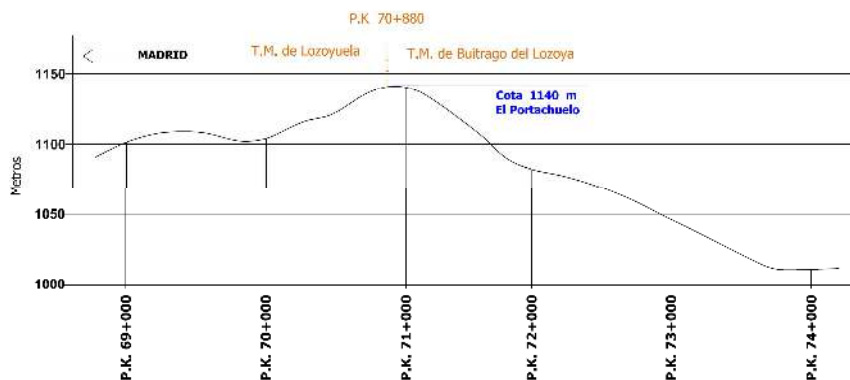
CONCLUSION

Calibración de equipos al inicio de la temporada de Vialidad Invernal.

4. ELECCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

LOCALIZACIÓN PRUEBAS (con tráfico)

- Campaña: 2012-2013
- Firme asfáltico: S-20
- Altitud: > 1.000 metros
- IMD: 20.2010 (16,76% pesados)
- Trat. Preventivos T^a Ambiente ≤ 2°C



5. ENSAYOS Y MAQUINARIA DE CONTROL

Mecánica operativa:

1.

- Tratamientos Preventivos (Previsión T^a Ambiente < 2°C).

2.

- Toma de datos cada 2 horas (Meteorológicos / Grip / Salinidad).

3.

- Registro y análisis de datos.

5. ENSAYOS Y MAQUINARIA DE CONTROL

Instrumentación:

- Estación meteorológica móvil no intrusiva *DSP310*:



- Temperatura del aire y calzada
- Humedad relativa
- Punto de rocío
- Estado de superficie (seco, húmedo, mojado, nieve, aguanieve, hielo)
- Espesor de la capa (agua, nieve, hielo)
- Adherencia (Grip)

- Equipo *ASFT Tráiler T-5*.

- Coeficiente de rozamiento longitudinal (CRL)



5. ENSAYOS Y MAQUINARIA DE CONTROL

- Medidor de salinidad *Sobo 20*:
 - Salinidad residual en la calzada

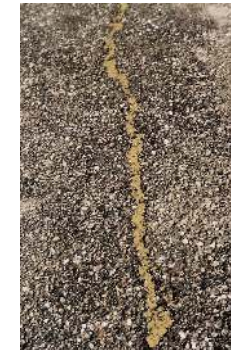


- Reactivos de salinidad residual:
 - Mezcla de nitrato de plata (AgNO_3) y Cromato de potasio (K_2CrO_4).

Reacción negativa



Reacción positiva

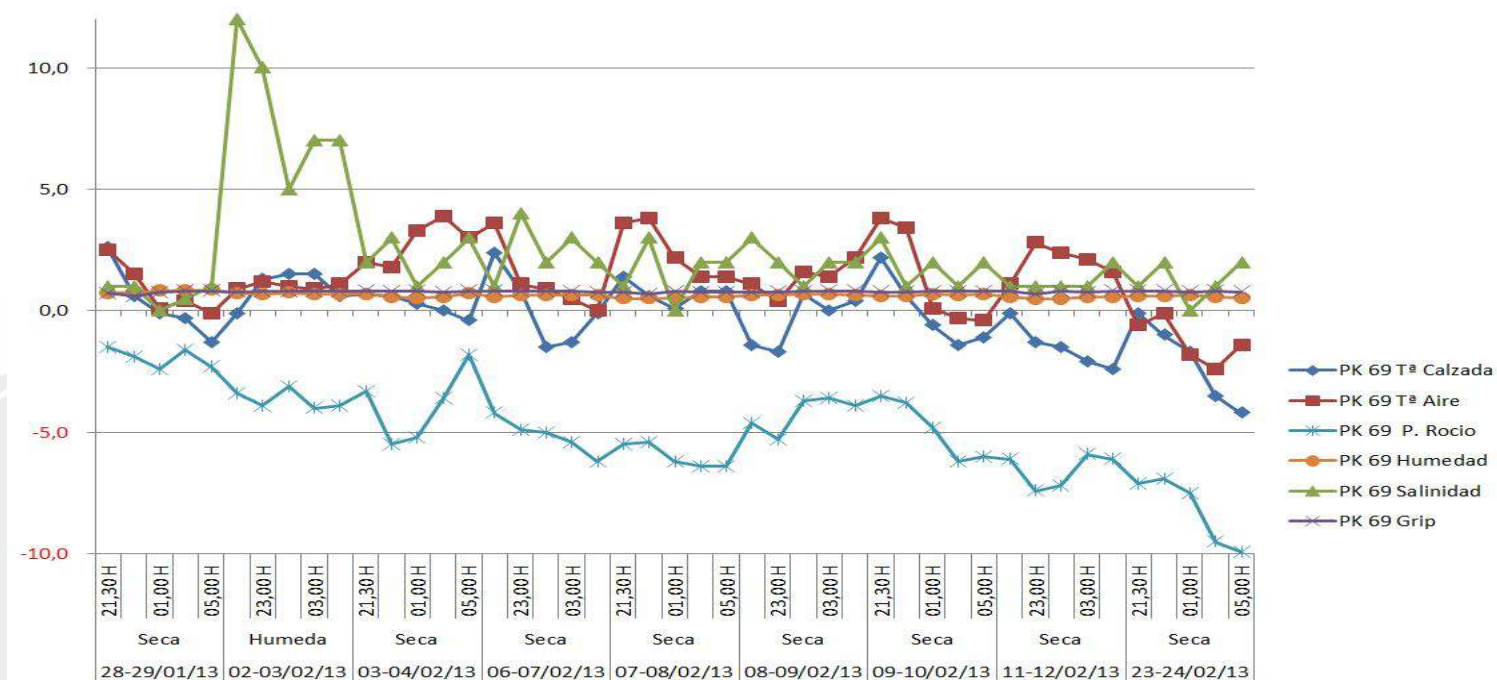


6. ENSAYOS DE DURACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

RESULTADOS:

Grip > 0,60

Tipo de fundente:	SAL	
Fecha	28.01.13 – 24.02.13	
Localización	Pk 69,000 – H=1.000 m	
Dosificación:	15 g/m²	
Ancho de extendido:	Derecha: 2	Izquierda: 5

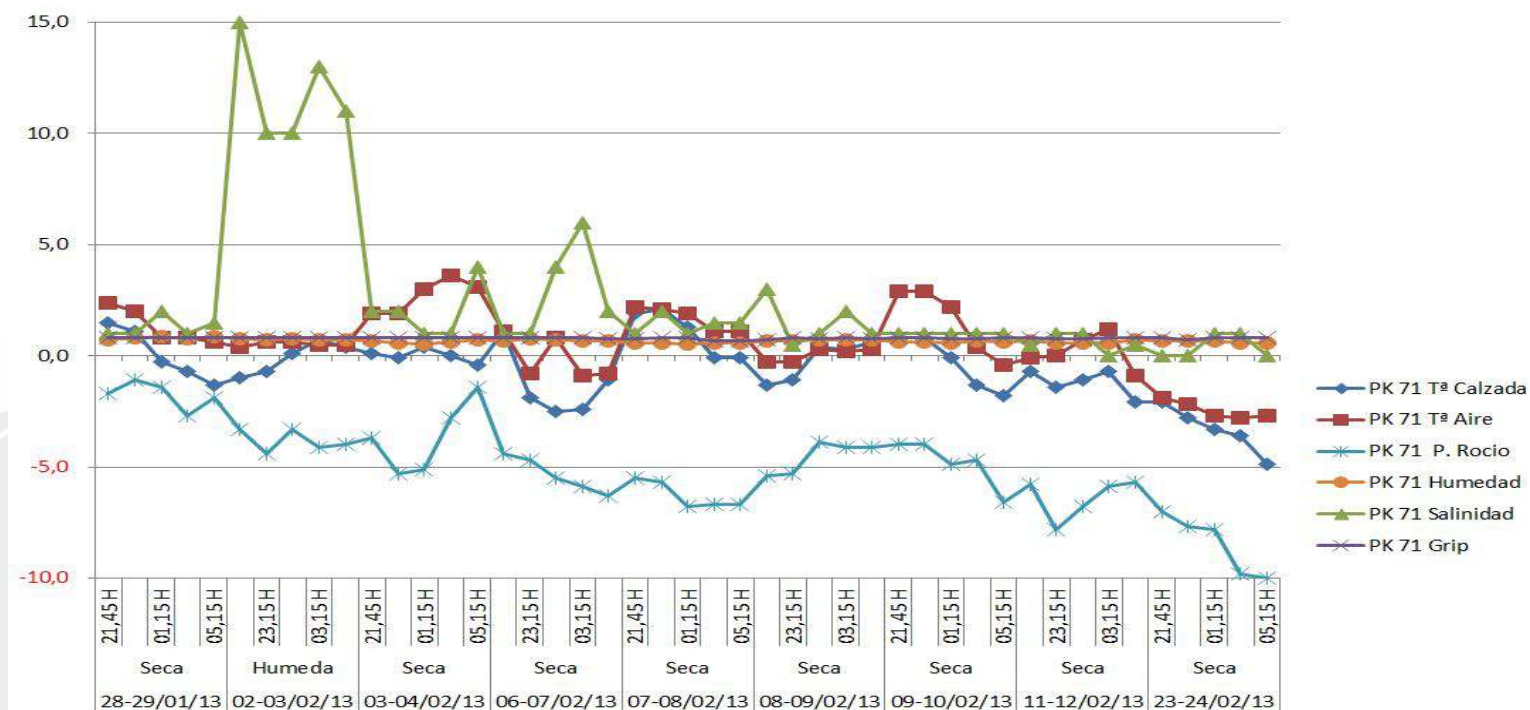


6. ENSAYOS DE DURACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

RESULTADOS:

Grip > 0,69

Tipo de fundente:	SALMUERA	
Fecha	28.01.13 – 24.02.13	
Localización	Pk 71,000 – H=1.140 m	
Dosificación:	20 g/m²	
Ancho de extendido:	Derecha: 2	Izquierda: 5



6. ENSAYOS DE DURACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

CONCLUSIONES ACTUALES

Mapa térmico. Disminución de tramos de actuación

Tratamientos preventivos actuales muy conservadores

Dosificación y temperatura no influyen en el grip

Es posible reducir las frecuencias de actuación. Necesidad pruebas sin tráfico para afinar sin riesgos.

7. ENSAYOS FUTUROS

LOCALIZACIÓN PRUEBAS

- Campañas 2013-2014 y 2014-2015
- Sin tráfico
- Firme asfáltico S-20.
- Altitud > 1.400 metros



6. ENSAYOS DE DURACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Mecánica operativa:

- Pruebas con previsiones de bajas temperaturas calzada varios días. Reproducción de fenómenos meteorológicos (lluvia, nieve etc.)
- Tratamientos preventivos iniciales en 2 tramos y 1 tramo sin tratar:
 - Sal y Salmuera.
- Toma de datos cada 2 horas:
 - Meteorológicos
 - Grip
 - Salinidad.
- Detección de formación de hielo en calzada.
- Comparativa de los tres tramos. Y determinación estrategia tratamientos

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

ANDORRA LA VELLA, 06.02.2014