

Seminario
“TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN EN ZONAS EXTREMAS”



DURABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ASTRID VILICIC MILOVIC
Ingeniero Civil en Obras Civiles

RÍO SECO



CERRO SOMBRERO- TDF



RÍO GRANDE - TDF



TRES PASOS – T.DEL PAINE



¿ POR QUÉ LO QUE SIEMPRE SE HACÍA NO ESTÁ DANDO EL MISMO RESULTADO ?

“...existen países con climas mucho más adversos que el nuestro y no tienen este problema...”

“...los pavimentos antiguos incluso estaban expuestos a peores inviernos...”

¿Por qué lo que siempre se había construido NO está dando buenos resultados?

“...los pavimentos de hoy no duran lo mismo que los antiguos...”

“...hay que ampliar los períodos de las garantías porque al año 5 es cuando parten los problemas...”

CHEMICAL DEICERS AND CONCRETE PAVEMENT: IMPACTS AND MITIGATION

INTRODUCTION

This Tech Brief focuses on a recently recognized form of deterioration on concrete pavements referred to as chemical deicer distress. It is gaining attention due to the increased frequency and severity of its appearance, which is related to the increased use of aqueous solutions of calcium chloride (CaCl_2) and magnesium chloride (MgCl_2) for pavement deicing (Sutter et al. 2008; Weiss and Farnam 2015). The resulting pavement distress often first appears as a “shadowing” at the pavement joints, which progresses into disintegration of the concrete as shown in figure 1 (Taylor, Sutter, and Weiss 2012). This Tech Brief summarizes the use of chemical anti-icers and deicers, reviews how hydraulic cement paste (HCP) is traditionally protected from freeze-thaw damage, describes physical and chemical distress mechanisms in the presence of aqueous CaCl_2 or MgCl_2 brine solutions, and discusses strategies that can be employed to mitigate this distress.



© 2017 Tom Van Dam

Figure 1. Joint “shadowing” (left) and eventual disintegration of concrete at joint (right).



Why do we need to improve?

- When we do what we have always done
- We should expect the same result!
- Something changed – by early 2000’s, newer pavements looked different
- All of our testing proved the pavement was great, slump, air & strength – what more did we need?

The Concrete Convention
and Exposition



American Concrete Institute
Always advancing

WEB SESSIONS

SOLICITACIONES GENERADAS POR EL CLIMA CICLOS DE HIELO Y DESHIELO

¿ Qué otro factor va a afectar la vida útil de nuestro pavimento ?

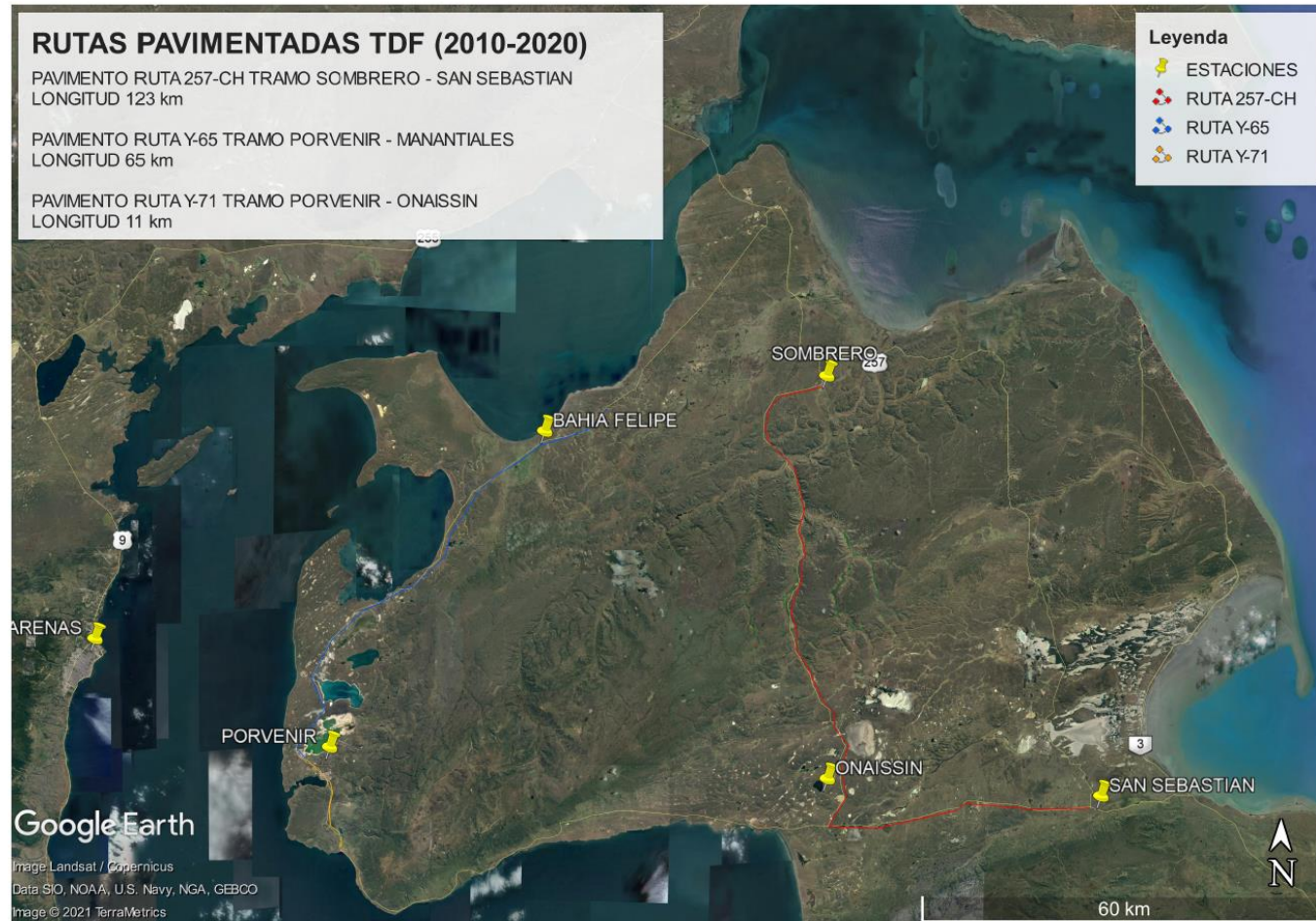
Los pavimentos en Magallanes están diseñados para 20 años

¿ Cuántos ciclos de hielo y deshielo puede soportar ?

¿ Qué papel juega el clima en la durabilidad ?

¿ Los proyectistas toman en cuenta las condiciones locales ?

¿ Cómo el clima afecta el hormigón ?
¿ Qué es un ciclo de hielo / deshielo ?



¿ QUÉ ES UN CICLO HIELO – DESHIELO ?

Temp (mín) ≤ -2 °[C]

Temp (máx) ≥ 0 °[C]

EXPOSICIÓN SEVERA



¿ QUÉ ES UN CICLO HIELO – DESHIELO ?

Temp (mín) ≤ -2 °[C]

Temp (máx) ≥ 0 °[C]

CANADÁ

TEMPERATURA MÍNIMA
EN INVIERNO PUEDE
LLEGAR A LOS -30 °[C]

...LA PREGUNTA ES...

¿ CUÁL ES LA
TEMPERATURA
MÁXIMA ?

¿ ES SOBRE LOS CERO
GRADOS ?

SI NO ESTÁ SOBRE LOS
CERO GRADOS, ¿ ES UN
CICLO ?

*“...existen países con climas
mucho más adversos que el
nuestro y no tienen
problema...”*

*“...los pavimentos antiguos
incluso estaban expuestos a
peores inviernos...”*

Propuesta de zonificación: Certezas para el diseño

Uno de los aspectos esenciales que considera la propuesta de zonificación son la ocurrencia de una serie de factores para elaborar el diseño de mezcla del hormigón y así, que éste cumpla con la especificación entregada de acuerdo a la zona donde se utilizará.

Al respecto, Luis Ebensperger comentó que existen cinco factores: la ocurrencia de ciclos de Congelación/Deshielo, la cantidad acumulada de ciclos de Congelación/Deshielo, la Vida Útil de Diseño especificada para la estructura, el grado de saturación del hormigón y la presencia de nieve. "Para la ocurrencia del deterioro por ciclos de congelación/deshielo -explicó el ingeniero- deben ocurrir de forma simultánea a lo menos estas 2 condiciones: ocurrencia de ciclos en el hormigón saturado".

Tanto en la Tesis ya mencionado como otros estudios[6] demuestran que el punto de congelación del agua para efectos de ocurrencia de un ciclo ocurre a los -2°C . Por esta razón los datos determinados para determinar la cantidad de ciclos anuales promedio por localidad fueron corregidos a la condición que se haya medido temperaturas en un mismo día menores a -2°C y mayores a 0°C .

El experto puntualizó en la cantidad acumulada de ciclos de Congelación/Deshielo y la vida útil. "Estudios internacionales muestran que aproximadamente a partir de 250 ciclos de congelación/deshielo el hormigón presenta un Factor de Durabilidad del 60%, con respecto a la condición inicial sin ningún ciclo, según la normativa ASTM C666[7], corresponde a la condición límite de deterioro", subrayó.

250 ciclos hielo / deshielo

Luis Ebensperger

Por el lado de la saturación del hormigón -explicaba el experto- se consideraron los mm de lluvia caída mensualmente en cada zona. Por ejemplo, para meses con menos de 10mm de lluvia se consideró que el Grado de Saturación es "Nulo", sobre 50mm como saturación Alta, y los valores intermedios como "Bajo".

Por ello, para efectos de la propuesta, se establecieron rangos de vida útil de 25 años para pavimentos y de 50 años, en el caso de estructuras en general, tal como fue en el caso de la investigación supervisada por Carmen Paz Muñoz. Con eso, "el promedio de ciclos aceptables, con tal de controlar los daños por efectos de estos ciclos, es de hasta 10 ciclos por año para pavimentos y 5 ciclos por año, en el caso de otras estructuras", detalló Ebensperger.

"Esta simultaneidad de factores -agregó- fue analizada para diferentes localidades del país, detectándose casos como el de Calama, donde el período de lluvias no coincide con el período de clima frío, o zonas como Coyhaique con varios meses de clima frío bajo -2°C , niveles de saturación Bajo y Alto, correspondiendo a un Grado F1 o F2 (acorde a NCh170:2016) según el mes analizado, pero dadas las condiciones de nieve durante el invierno, el Grado definitivo a especificar para estructuras exteriores corresponde a Grado F3".

"...el promedio de ciclos aceptables, con tal de controlar los daños por efecto de estos ciclos, es de hasta 10 ciclos por año para pavimentos..."

Luis Ebensperger

La información de las estaciones climáticas de la UMAG y los datos por localidad han sido fundamentales para entender el deterioro superficial

Si analizamos los primeros 5 años de servicio, este valor va a coincidir con los 250 ciclos que se considera que dure un pavimento sin daño.

CICLOS HIELO Y DESHIELO ANUALES			
AÑO	CERRO SOMBRERO	ONAISSIN	SAN SEBASTIAN
2012	63	60	116
2013	43	41	90
2014	56	45	78
2015	63	40	88
2016	50	54	91
2017	41	43	59
2018	61	64	107
2019	57	48	79
2020	81	61	103

PROMEDIO CICLOS/AÑO	57	51	90
--------------------------------	-----------	-----------	-----------

EXPOSICION HORMIGONES DESDE SU CONSTRUCCIÓN			
AÑO	SOMBRERO I	ONAISSIN II	ONAISSIN IV
2012	63	60	
2013	43	41	
2014	56	45	
2015	63	40	
2016	50	54	91
2017	41	43	59
2018	61	64	107
2019	57	48	79
2020	81	61	103

ACUMULADOS EN SU VIDA ÚTIL	515	456	439
---------------------------------------	------------	------------	------------

ONAISSIN

AÑO	CICLOS HIELO - DESHIELO		
	CICLOS/AÑO	PROMEDIO MES	PROMEDIO ANUAL
2012	59	5	48,5
2013	41	3	
2014	44	4	
2015	38	3	
2016	52	4	
2017	42	4	
2018	63	5	
2019	49	4	

388

En 8 años de servicio lleva acumulados 388 ciclos de hielo/deshielo

PRECIPITACIONES			
ANUAL MM	PROMEDIO MENSUAL	MAX MENSUAL	MES PP MAX
177,6	14,8	41,2	Diciembre
238,7	19,9	38,9	Marzo
229,0	19,1	30,4	Agosto
218,5	18,2	46,8	Mayo
221,6	18,5	33,4	Diciembre
277,2	23,1	45,6	Febrero
236,7	19,7	32,0	Enero
291,6	24,3	48,2	Diciembre

1890,9 mm de agua acumulada

236,4 mm de agua por año

SAN SEBASTIAN

AÑO	CICLOS HIELO - DESHIELO		
	CICLOS/AÑO	PROMEDIO MES	PROMEDIO ANUAL
2012	115	9,6	88,3
2013	91	7,6	
2014	77	6,4	
2015	88	7,3	
2016	91	7,6	
2017	59	4,9	
2018	106	8,8	
2019	79	6,6	

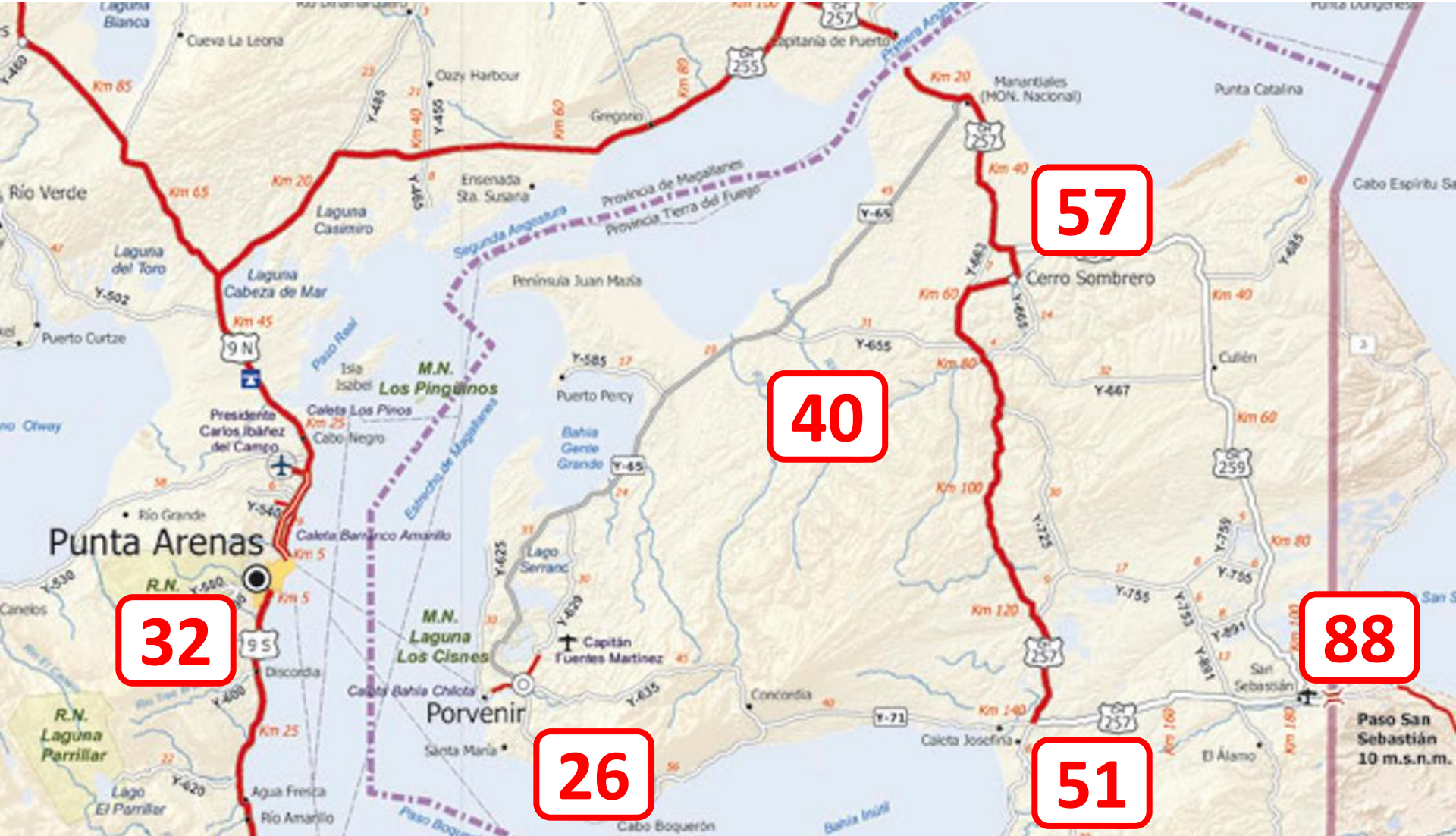
PRECIPITACIONES			
ANUAL MM	PROMEDIO MENSUAL	MAX MENSUAL	MES PP MAX
281,0	23,4	43,2	Diciembre
321,4	26,8	48,8	Diciembre
412,6	34,4	59,0	Febrero
258,0	21,5	56,2	Mayo
287,4	24,0	49,1	Diciembre
394,1	32,8	56,3	Marzo
304,3	25,4	48,3	Enero
396,8	33,1	75,8	Abril

2655,6 mm de agua acumulada

332,0 mm de agua por año

Ambas localidades forman parte de UN contrato. La distancia entre ambos es de 45km.
¿ Habrá sido considerado en el diseño ?

Este número representa el promedio de ciclos de hielo y deshielo por localidad. Los datos son de la Universidad y son públicos. Estas diferencias DEBIERAN considerarse en el diseño...¿?



**¿ QUÉ COSAS
HEMOS
CAMBIADO ?**

**Incorporación de la medición de
macrotextura**

**Alcohol alifático retardadores
de evaporación**

**Disminución del tamaño
máximo del árido (sin
incrementar el % de Aire
incorporado)**

**Juntas no selladas en los casos
de losas de geometría
optimizada (70km de
pavimento sólo en Tierra del
Fuego)**

Fibras de polipropileno

**APLICACIÓN DE SALES
DESCONGELANTES**

**Esto obliga a tener una mayor cantidad
de lechada en la superficie para cumplir
este requisito, menor % de aire en la
superficie**

**Generaron un exceso de lechada que se
traduce en fisuras plásticas**

**De manera automática, al disminuir el
tamaño máximo del árido, se debería
incrementar el % de aire**

**Incrementamos el grado de saturación
en las juntas, problemas con la
permeabilidad además de tener hasta 3
veces más de cortes de inducción**

**Reducción de la trabajabilidad
(docilidad) del hormigón**

**Incremento del grado de saturación del
hormigón, altas concentraciones de sal
en la calzada**

USA

CODIGO ACI

(tam máx nominal 25mm)

AIRE INCORPORADO 6,5% ± 1,5%

CONTROLA CALIDAD DEL AIRE
(*spacing factor*)

RESTRINGE A/C máx 0,45

DRENAJE PAVIMENTO (BOMBEO) mín 2%

SELLADO DE JUNTAS

LAVADO HORMIGON

RESTRINGE TIPO DE SAL
(Mg y Ca)

RESTRINGE APLICACIÓN DE SALES
PRIMEROS AÑOS DE LOS PAVIMENTOS

CHILE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

(tam máx nominal 25mm)

AIRE INCORPORADO 4,0% ± 0,5%

NO CONTROLA
(*factor espaciamento*)

A/C SIN MÁXIMO

NO RESTRINGE

NO SIEMPRE

NO SE LAVA

NO RESTRINGE (Mg ni Ca)
Sólo 98% mín NaCl

NO RESTRINGE APLICACIÓN DE SALES
DURANTE LOS PRIMEROS AÑOS

14

GUIDE TO DURABLE CONCRETE (ACI 201.2R-16)

Table 4.2.3.2.4—Recommended air contents

Nominal maximum aggregate size, in. (mm)	Air content, percent*	
	Exposure Class F1	Exposure Class F2 and F3
3/8 (9.5)	7	7.5
1/2 (12.5)	7	7
3/4 (19)	6.5	7
1 (25)	6.5	6.5
1-1/2 (37.5)	6	6.5
2 (50)	6	6
3 (75)	5	5.5

*Field tolerance on air content is recommended as $\pm 1/2$ percent. Air content recom-**ADITIVOS INCORPORADORES DE
AIRE
(BURBUJAS DE AIRE)****MÍNIMO 3,5% AIRE
PERMITIDO EN MAGALLANES
HASTA AÑO 2013****EL PORCENTAJE DE AIRE PODRÍA
LLEGAR A UN 8,5 % SEGÚN LA NORMA
AMERICANA PARA UN TAMAÑO
MÁXIMO NOMINAL DE 19[mm]****RÍO SECO
RUTA 9 TRAMO I
FUERTE BULNES TRAMO I
AERÓDROMO PORVENIR
FUERTE BULNES TRAMO II
RUTA 9 TRAMO III
GOBERNADOR PHILIPPI
ONAISSIN TRAMO II**

6.4 Requisitos de durabilidad debido a exposición a agentes externos

6.4.1 Congelación y deshielo

6.4.1.1 Cuando el hormigón va a estar sometido a la acción de ciclos de congelación y deshielo, la resistencia mínima especificada y el contenido total de aire deben cumplir con lo indicado en Tabla 4 de acuerdo al grado de exposición.

Tabla 4 – Requisitos del hormigón sometido a la acción de congelación y deshielo

Grado de exposición		Mínimo grado de resistencia especificado	Aire total	Tamaño máximo nominal del árido, D_n
		MPa	%	mm
F0	Hormigón no expuesto a congelación y deshielo	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
F1	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad	G30	6,0	10
			5,0	20
			4,5	40
F2	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad	G30	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40
F3	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	G35	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40

**INTERESANTE
INCREMENTO A
UN 6%**

**SI EL TAMAÑO
MÁXIMO DE LOS
ÁRIDOS
DISMINUYE, EL
AIRE DEBERÍA
AUMENTAR**

**AÚN SIGUE
SIENDO MÁS BAJO
QUE LO QUE
ESPECIFICA ACI**

6.4.1.2 La tolerancia en el contenido de aire es de $\pm 1,5\%$. Para hormigones de grado superior a G35, el contenido total de aire indicado en Tabla 4 se puede reducir en un punto porcentual.

14

GUIDE TO DURABLE CONCRETE (ACI 201.2R-16)

Table 4.2.3.2.4—Recommended air contents

Nominal maximum aggregate size, in. (mm)	Air content, percent*	
	Exposure Class F1	Exposure Class F2 and F3
3/8 (9.5)	7	7.5
1/2 (12.5)	7	7
3/4 (19)	6.5	7
1 (25)	6.5	6.5
1-1/2 (37.5)	6	6.5
2 (50)	6	6
3 (75)	5	5.5

*Field tolerance on air content is recommended as ± 0.5 percent. Air content recom-

even with short mixing periods or brief haul times, whereas more slowly-acting admixtures can perform better with a longer mixing or haul time. The degree that air is incorporated in the fresh concrete during mixing depends on the shearing, tumbling, or wave-breaking action of the concrete in the mixer itself. This action will depend on the slump of concrete and cleanliness and efficiency of the mixing blades. Air incorporated in concrete is subdivided into smaller bubbles by continued mixing and stabilized by the air-entraining admixture, thus minimizing air loss. Immediately before being discharged, the freshly mixed concrete contains air bubbles of a wide distribution of sizes and with varying effectiveness in terms of providing frost resistance, which all have their origin in the engulfment or entrapment

**A PESAR DE INCREMENTAR EL %
DE AIRE A UN 6% SIGUE SIENDO
MENOR QUE LO
RECOMENDADO.**

**¿ QUÉ PORCENTAJE DE AIRE SE
ESPECIFICA EN LOS PAVIMENTOS
DE MAGALLANES ?**

**MÍNIMO 3,5%
ES ACEPTADO**

SE RESTRINGE
LA RELACIÓN
A/C
TAMPOCO
COINCIDE CON
ACI QUE ES
a/c (máx) 0,45

ACTUALIZACIÓN SECCIÓN 5.410 PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

- Requisitos para agentes externos: Solo congelación y deshielo.

En el caso de un grado de exposición F3 (uso de sales fundentes) el hormigón deberá cumplir con una relación A/C máxima de 0,40 y una profundidad máxima de penetración de agua de máximo 20 mm, medida mediante el Método 8.402.16, en testigos extraídos del pavimento, según lo establecido en el Numeral 5.410.303(5).

A PESAR DE
INCREMENTAR
EL % DE AIRE,
ÉSTE SIGUE
SIENDO
MENOR QUE
LO
RECOMENDAD
O POR EL
CODIGO ACI

**TABLA 5.410.201.B
REQUISITOS DEL HORMIGÓN SOMETIDO
A LA ACCIÓN DE CONGELACIÓN Y DESHIELO**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO, D_n mm	AIRE TOTAL %
19	6,0
37,5	5,5

CODIGO ACI

**7,0 % ± 1,5%
6,5 % ± 1,5%**

La
disminución
exagerada
de la a/c
puede
llevar a que
partículas
de cemento
no se
alcancen a
hidratar

El contenido de aire total se medirá según el Método 8.402.17. Se deberá verificar que las propiedades del hormigón cumplen con lo especificado, confeccionando hormigones de prueba, lo cual deberá ser informado en la dosificación.

3.3) RESISTENCIA AL CICLO HIELO – DESHIELO. RELACION AGUA CEMENTO (a/c).

Los hormigones tipo F3, severamente expuestos, tienen otra limitación: su relación agua cemento (a/c). Adjuntamos la tabla del Código ACI 318. Hoy en día, la normativa chilena **NO** tiene ninguna restricción para este valor.

TABLA 4.2.2
Requisitos para condiciones
de exposición especiales

Condición de exposición	agua/cemento en peso	mínima, MPa
Hormigón que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.50	28
Hormigón expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda ó a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger de la corro-		

Fuente: Código ACI 318 Volumen 4.

LA DIRECCIÓN REGIONAL DE VIALIDAD, A PESAR DE QUE LA NORMA CHILENA NO RESTRINGE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO, LICITÓ LOS ÚLTIMOS DOS CONTRATOS DE PAVIMENTO CON UN MÁXIMO DE 0,40

6.2 Especificación del hormigón por durabilidad

6.2.1 El proyectista estructural debe asignar los grados de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición prevista de los elementos de hormigón para cada grado de exposición de acuerdo a lo establecido por esta norma.

6.2.2 El proyectista estructural debe considerar, al asignar el grado de exposición, si el proyecto considera medidas especiales de protección del elemento estructural.

6.2.3 Cuando se requiera especificar la permeabilidad, la resistencia especificada por el proyectista estructural debe ser congruente con los requisitos de permeabilidad por durabilidad.

6.2.4 Con el fin de proteger a las estructuras de hormigón reforzado en condiciones ambientales consideradas como no agresivas, se debe utilizar una dosis de cemento mínima de 240 kg/m³.

**LA ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA
CHILENA NCH 170 of 2016 SIGUE SIN
INCLUIR UNA RESTRICCIÓN EN LA
RELACIÓN AGUA CEMENTO (a/c)**

**AL HABLAR DE PERMEABILIDAD LA RELACIÓN
AGUA CEMENTO ES LA QUE SE DEBERÍA
RESTRINGIR. ESPECIFICAR UNA DOSIS
MÍNIMA DE CEMENTO NO ASEGURA CUMPLIR
ESTE REQUISITO.**

A PESAR DE NO EXISTIR RESTRICCIÓN, HEMOS RESTRINGIDO NUESTRA RELACIÓN (a/c) máx 0,45

Norma ACI.201.3T-19. Fuente: American Concrete Institute

"...Reducir la relación agua cemento (a/c). un valor máximo de 0,45 de relación a/c es recomendable para superficies de concreto que estén expuestas a sales descongelantes..."

Relación Agua cemento
Pavimentos Tierra del Fuego



EL SOMBREADO EN LAS JUNTAS “ACUSA” LOS
PRIMEROS SÍNTOMAS DEL PROBLEMA

¿ POR QUÉ EN LA JUNTA ?

Pavimentos expuestos a climas fríos y ciclos de hielo y deshielo

La bibliografía es extensa y ya actualizaron las normas

Physical and chemical deicer damage mechanisms

Both physical and chemical mechanisms associated with deicers cause damage in pavement and flatwork joints. The physical damage results from higher levels of fluid saturation in the concrete, which leads to conventional freezing-and-thawing damage (ACI 201.2R). The chemical mechanisms involve reactions between chloride and the cementitious matrix; in particular, research has identified the production of a secondary phase known as calcium oxychloride (Sutter et al. 2006; Suraneni et al. 2016a), which is a particular concern for joint durability.

Saturation and physical damage mechanisms—There is a strong correlation between the degree of saturation and freezing-and-thawing damage in concrete (Peterson et al. 2013; Li et al. 2012). A critical degree of saturation exists that, if exceeded, can result in freezing-and-thawing damage after just one cycle of freezing, even in concrete that has a suitable water-cementitious materials ratio (w/cm) and an adequate air-void system. This critical degree of saturation ranges from 78 to 91 percent for properly air-entrained concrete (Todak et al. 2015).

Figure 2 illustrates a model that describes the interaction between air volume and the degree of saturation over time in a concrete mixture (Todak et al. 2015). Initially, absorbed water fills the gel and capillary pores. The degree of saturation associated with the filling of gel and capillary pores is shown by the circle where the

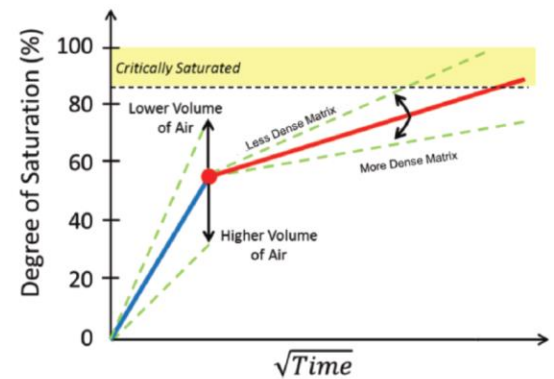


Fig. 2—A conceptual illustration of the sorption-based freezing-and-thawing model (after Todak et al. 2015).

JOINT DETERIORATION AND CHLORIDE-BASED DEICING CHEMICALS (ACI 201.3T-19)

slope of the line changes. This value is related to the volume of air in the mixture such that a mixture with a higher air volume has a lower degree of saturation. After the gel and capillary pores are filled, the rate of infilling decreases as the larger air voids begin to fill (Lucero et al. 2015; Esmaeeli et al. 2017). This is known as secondary saturation (Todak et al. 2015); the rate is dependent on the w/cm (Khazadeh et al. 2019). When the degree of saturation exceeds the critical degree of saturation, cyclic freezing-and-thawing will result in typical freezing-and-thawing cracking (Fagerlund 1977; Todak et al. 2015). Joints that remain saturated, as well as concrete that has absorbed deicing salt, will achieve a higher degree of saturation and will be less likely to benefit from drying periods (Wiese et al. 2015).

Reactions between salt solution and cement paste—Reactions between salt-rich solutions and the cementitious matrix can produce secondary phases that may diminish concrete durability. Even when low concentrations of deicers are applied to pavements, if the salt that occurs during drying will eventually precipitate, forming these deposits.

Deicing salts and concrete saturation at joints

Joints and cracks in concrete pavements are most likely to experience increased degree of saturation as salt solutions collect in these openings. Contributing factors include surface ponding, ineffectively-sealed joints that allow the ingress of salt solutions (brines), and inadequate subsurface drainage that prevents the brine from draining away in a timely manner. This increases the degree of saturation of the concrete as well as its salt content as the brine permeates the concrete (Spragg et al. 2011). In addition, cyclic wetting and drying increases the salt concentration. These factors contribute to deterioration mechanisms, which are described in the following section.

Material – www.concrete.org

ACI Collection Licensed to: Astrid Vilicic

“...las juntas y fisuras en pavimentos de HG están más propensas a incrementar su grado de saturación ya que los granos de sal se acumulan en estas aberturas. Factores que contribuyen incluyen agua que se “apoza”, juntas mal selladas que permiten el ingreso de sal y una superficie con un drenaje inadecuado que evita que los granos de sal escurran en poco tiempo. Esto incrementa el grado de saturación del concreto como también el contenido de partículas de sal que ingresan al HG...”

Pavimentos de HG de
geometría optimizada
NO consideran sello

+

Tienen el doble de cortes
transversales y el triple
de junta longitudinal

*Norma ACI.201.3T-19. Fuente:
American Concrete Institute.*

*“... proveer una barrera física al
ingreso de humedad. Las juntas
selladas verán generalmente un
menor ingreso de fluidos si éstas
están instaladas correctamente y
se mantienen...”*

**Pavimentos de HG de geometría
optimizada NO consideran sello
+
Tienen el doble de cortes
transversales y el triple de junta
longitudinal**



**¿ CÓMO EVITAMOS EL DAÑO EN LAS JUNTAS ?
GRADO DE SATURACIÓN DE LAS JUNTAS**

Pavimentos de HG de geometría optimizada NO consideran sello
+
Tienen el doble de cortes transversales y el triple de junta longitudinal

Recommendations to reduce the potential for joint deterioration associated with chloride-based deicing chemicals

Keeping the concrete below critical saturation—Reducing the potential for fluid saturation is central to reducing the potential for freezing-and thawing damage, whether deicers are present or not. Four approaches can reduce the potential for the concrete to reach a critical level of saturation.

1) **Provide a physical barrier to moisture ingress**—Sealed joints will generally see less fluid ingress provided they are installed correctly and maintained properly (ACI 325.9R). In addition to conventional joint sealers,

adequate surface runoff from the concrete surface, as well as joints, is essential for durability because this reduces the potential to reach critical saturation. Adequate surface runoff that prevents water from accumulating on the pavement surface can help reduce joint saturation when the physical barriers described previously do not perform adequately. Also, it is essential to provide a subgrade that drains adequately to allow joints to rapidly drain and to provide a capillary break to reduce infiltration of water from the subgrade (Wiese et al. 2015). Proper execution of construction practices, such as depth and timing of joint cutting, are also essential to prevent cracking at locations other than joints, as these cracks are very difficult to seal (ACI 325.9R).

3) **Ensure that concrete is properly air-entrained**—Concrete with a higher air content reduces the degree of saturation (refer to Fig. 2 and Wiese et al. [2015]). As a result, concrete with low air content has a greater risk of deterioration from freezing and thawing. An air content of 5.5 to 7 percent is recommended, depending on the

Norma ACI.201.3T-19. Fuente: American Concrete Institute.

“...mantener el concreto por debajo del punto de saturación crítica es central para reducir el potencial daño de los ciclos de hielo-deshielo aun cuando estén o no presentes las sales descongelantes. Existen 4 factores que pueden reducir el riesgo...”

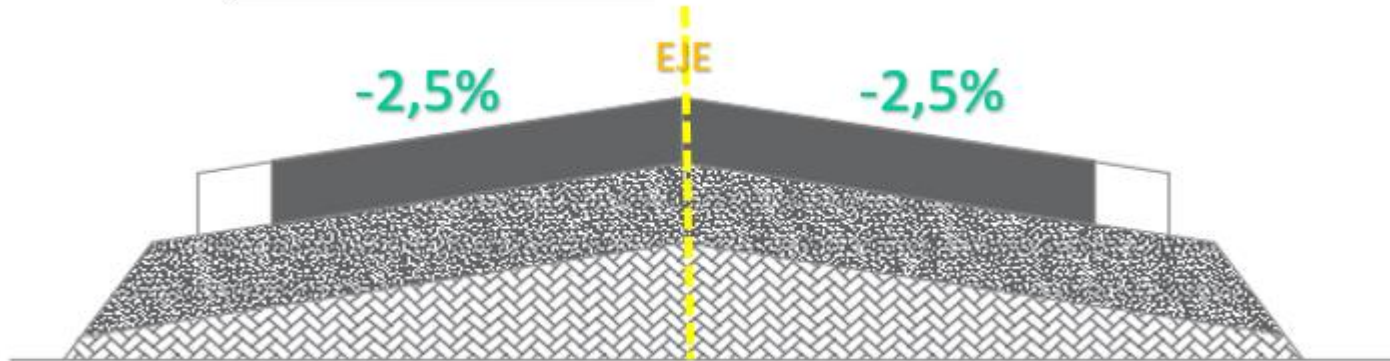
“... proveer una barrera física al ingreso de humedad. Las juntas selladas verán generalmente un menor ingreso de fluidos si estas están instaladas correctamente y se mantienen...”



“...mantener el concreto por debajo del punto de saturación crítica es central para reducir el potencial daño de los ciclos de hielo-deshielo aun cuando estén o no presentes las sales descongelantes. ...”



SITUACIÓN A. "Perfil Corona"



*Norma ACI.201.3T-19.
Fuente: American
Concrete Institute*

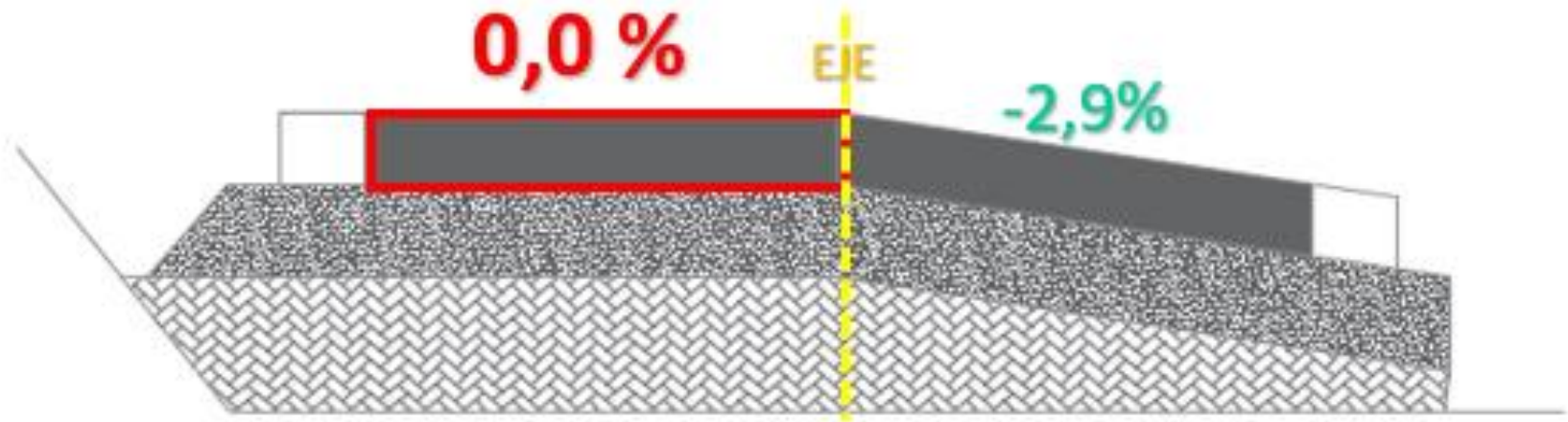
*"...proveer un
adecuado drenaje de
las juntas y de la
superficie del concreto
es esencial para la
durabilidad porque
esto evita llegar al
punto de saturación
critica. Un bombeo
adecuado de la
superficie que
prevenga la
acumulación de agua
puede ayudar a
reducir la saturación
de las juntas..."*



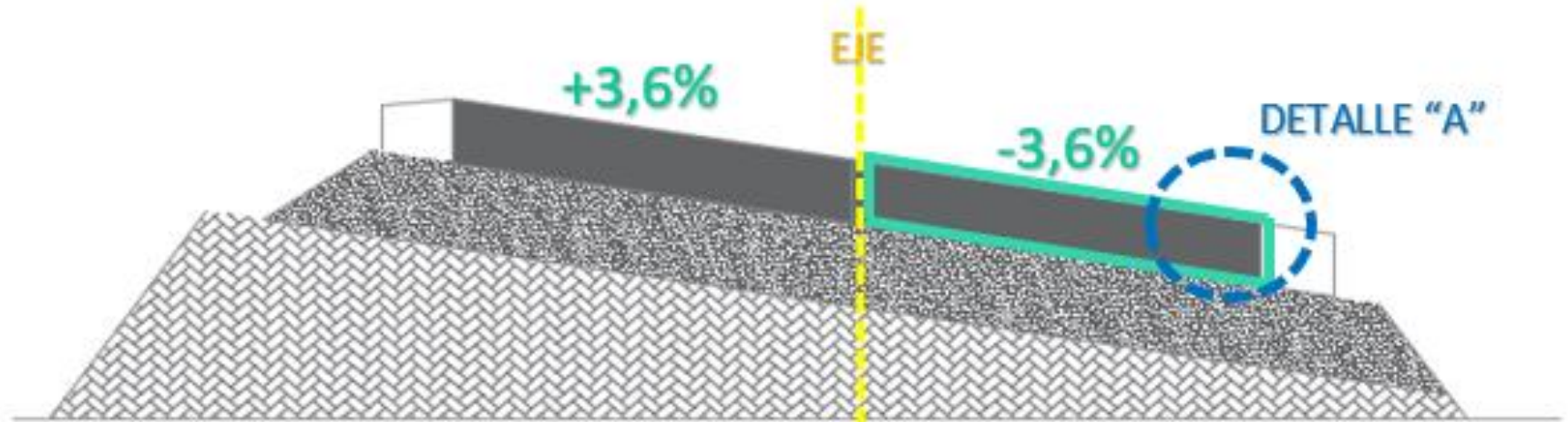
¿ Cómo aseguramos el buen drenaje en esta geometría ?



SITUACIÓN B. "Perfiles de transición"



SITUACIÓN C. "Perfil Peraltado"



El punto de saturación de todos los perfiles, que NO se encuentren en la condición del "perfil corona", se verá incrementado. Al estar éste sobre un 85% (Jason Weiss, Ph.D, 2016), afectará así la durabilidad de nuestros pavimentos. La siguiente foto muestra, una curva en el contrato de pavimento de hormigón de losas con geometría optimizada donde se ve claramente que el defecto se da (al igual que en Estancia Miriana, recién expuesto) se produce en la pista interna.



Mejoramiento Ruta 257-CH, tramo II. Inicio km 58,800 al km 78,000. Fuente: Elaboración propia.

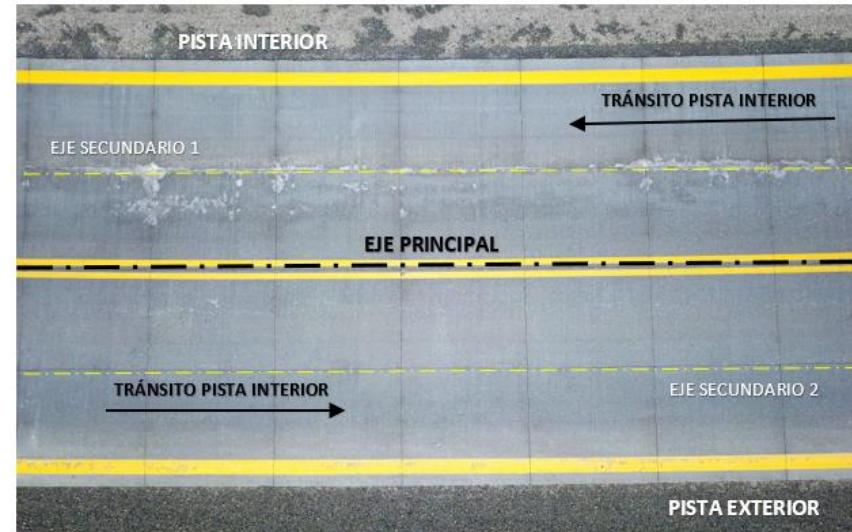
Si nos fijamos en el sentido de escurrimiento de las aguas, hacia la pista interior, es claro que la cantidad de agua que recibe la pista interior es el doble que la de la pista exterior y que, por esta razón, ésta última drenará más rápido y estará siempre por debajo del punto de saturación crítico. Sin embargo, es muy difícil que la pista interior sea capaz de hacer lo mismo si tiene que evacuar el agua de ambas pistas lo que sin duda incrementa la saturación de las juntas. Si nos acercamos a verificar el defecto, veremos un segundo factor relevante a evaluar que es donde se inicia el defecto.

Los pavimentos delgados con fibra estructural (geometría optimizada) no se sellan. Está demostrado que el 70% del agua que ingresa a los pavimentos lo hacen por las juntas longitudinales. Este tipo de geometría tiene además del eje principal del camino, que divide la calzada en dos pistas, tiene un corte longitudinal adicional por cada pista. Esto se traduce en 3 ejes longitudinales en el pavimento.

A todo lo anterior debemos sumarle un tercer factor. Las juntas de contracción que no "trabajan".

Si el agua penetra el hormigón, por una mala mantenimiento (estado de los sellos) o a la NO existencia de éstos, debería la subbase de la estructura ser capaz de drenar de manera transversal el agua una vez que atraviesa todo el espesor de la losa, pero, si esto último no sucede, el agua queda atrapada y no llega nunca a la sub base drenante (no heladiza). La única posibilidad de que esa agua deje el sistema es por evaporación.

Durante la construcción es posible determinar si las juntas transversales están o no trabajando. No se puede tener esa certeza en los cortes longitudinales. Si al hecho de no tener la capacidad de drenar el agua le sumamos que, no existen sellos que impidan el ingreso de agua NI de partículas de sal, el punto de saturación se verá incrementado disminuyendo de esa forma, la durabilidad de nuestras juntas.



Mejoramiento Ruta 257-CH, tramo III. Pavimento delgado de geometría optimizada y fibra. Fuente: Elaboración propia.

¿ CÓMO EVITAMOS EL DAÑO EN LAS JUNTAS ? GRADO DE SATURACIÓN DE LAS JUNTAS

Hi Jake –|

Yes, MnDOT typically flushes bridges in the spring after snow and ice season to remove de-icing salt and other debris from the bridge. The goal is to flush every bridge annually or as often as constraints allow. Note that if protected species are on the bridge, there are additional restrictions.

Prior to flushing, material and debris must be collected from the bridge deck by mechanical or manual sweeping. This is generally accomplished no more than two weeks prior. The crews then flush the bridge deck, gutter, joints, and drainage systems. They will also often flush bridge seats, beam ends, and bearings at the abutments. Pier caps may be flushed using snoopers or bucket trucks, but it is only performed on an as-needed (infrequent) basis due to the additional challenges with access and traffic.

The crews typically use water tanker units with a low pressure (less than 120 psi), high volume water pump system. The flushing water comes from a municipal source with no additives.

MnDOT's flushing procedures are detailed in Section 4.1.1 of the MnDOT Bridge Maintenance Manual. To access the information, use the following link: [Bridge Maintenance Manual - Bridge - MnDOT \(state.mn.us\)](#), and select Chapter 4 – Field Guide – Deck (PDF). MnDOT also developed a training module for bridge flushing, which can be found on the [Training - Bridges and Structures - MnDOT \(state.mn.us\)](#) website under E-Learning.

Let me know if you would like additional information or photos of the equipment.

Thanks,

Sarah

Sarah Sondag

MnDOT Bridge Preservation and Operations

651-285-6625 | sarah.sondag@state.mn.us



**PARA EVITAR LA
CONCENTRACIÓN DE SAL,
LOS PAVIMENTOS SE LAVAN
ANTES, DURANTE Y DESPUÉS
DE LA TEMPORADA
INVERNAL**

**“ NO APLICAR SAL
PAVIMENTO NUEVO ”**

**NO SE APLICA SAL
DURANTE LOS PRIMEROS
AÑOS**

Sarah

Sarah Sondag

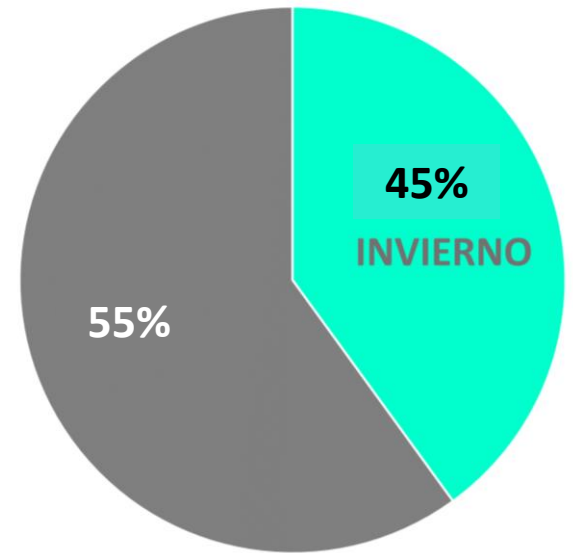
MnDOT Bridge Preservation and Operations

651-285-6625 | sarah.sondag@state.mn.us

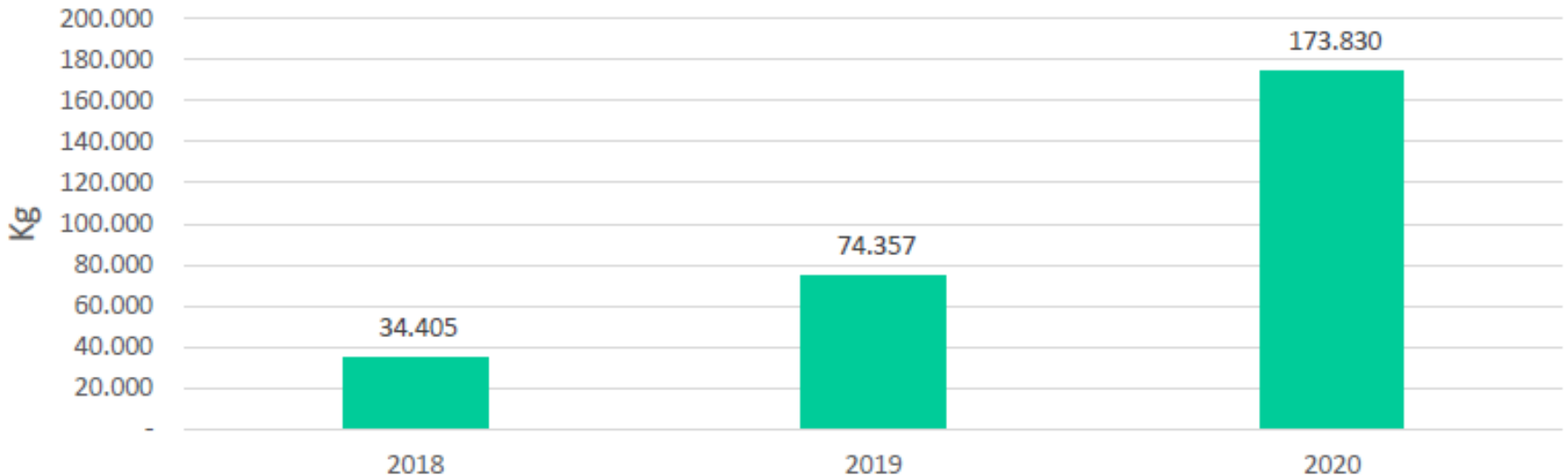


¿ ES LA SAL LA SOLUCIÓN PARA EVITAR LOS ACCIDENTES ?
¿ INCIDE QUE TIPO DE SAL SE USA ?

Si analizamos los datos de los accidentes en la Ruta 257-CH entre lo que va del 2023 y el año 2018 ¿si el 55% de los accidentes son con el pavimento SECO, revisemos el trazado?

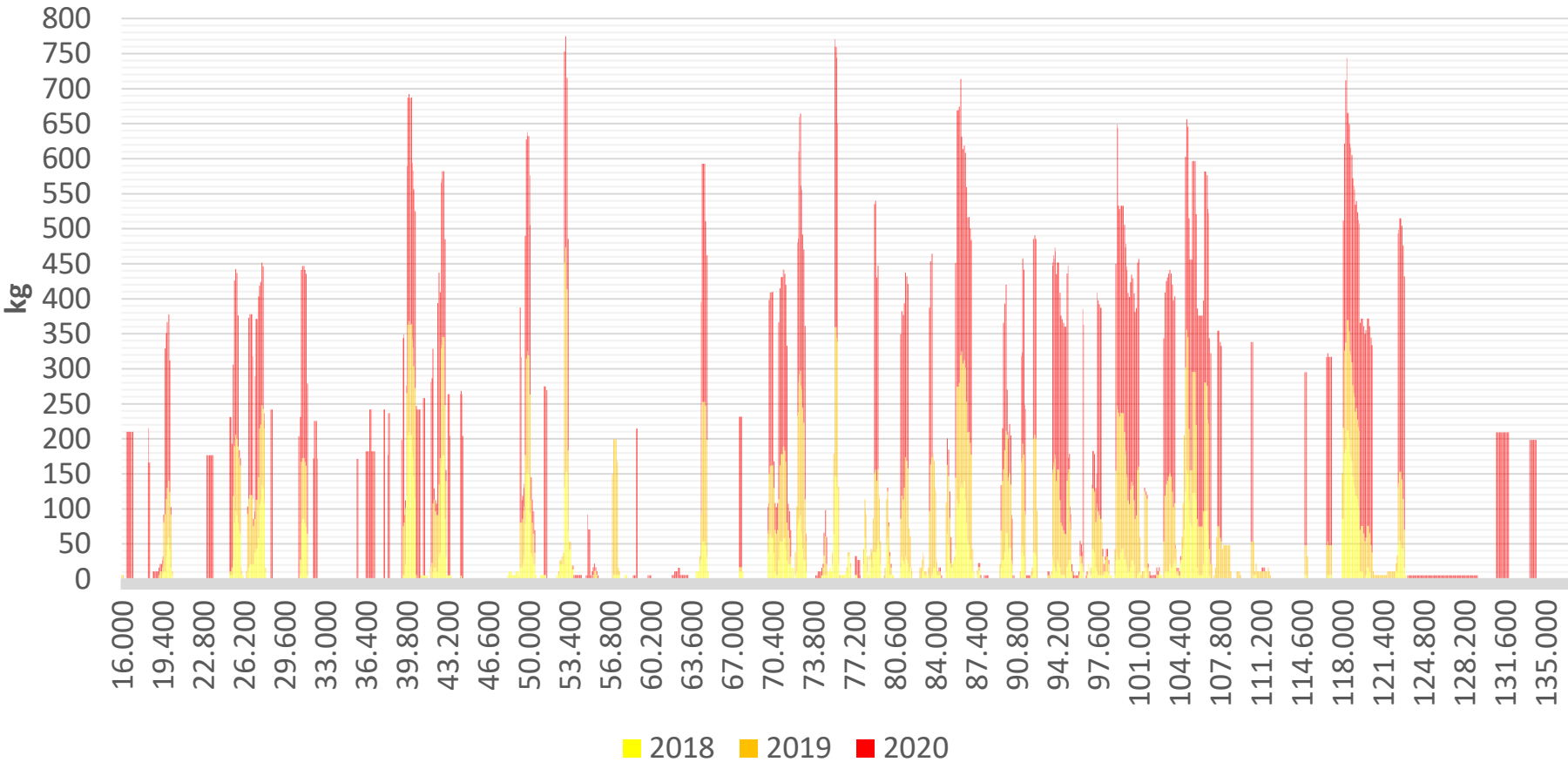


Aplicación de Sal Ruta 257-CH



**¿ ES LA SAL LA SOLUCIÓN PARA EVITAR LOS ACCIDENTES ?
¿ INCIDE QUE TIPO DE SAL SE USA ?**

Aplicaciones de sal Ruta 257-CH (2018-2020)



En la ruta internacional 257-CH existen 58km de pavimento que no llevan sello.

¿ ES LA SAL LA SOLUCIÓN PARA EVITAR LOS ACCIDENTES ? ¿ INCIDE QUE TIPO DE SAL SE USA ?

En este diagrama, no a escala, vemos en detalle lo que significa modificar el perfil transversal tipo. En la ruta 257-CH solo en el tramo comprendido entre Cerro Sombrero y San Sebastián (123km), tenemos más de 10[km] cuyos perfiles transversales se encuentran en la situación "B", es decir, en transición. Analicemos qué pasa durante esta curva. Al tener una pendiente transversal menor a un 2% (recomendado en la norma americana) el agua no es capaz de escurrir o evacuar la plataforma, lo que se traduce en una saturación permanente de los poros de aire incorporados en la mezcla.

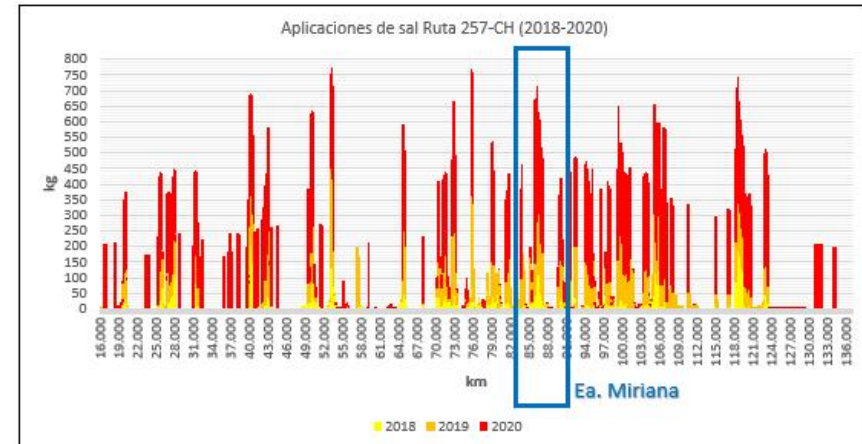


Mejoramiento Ruta 257-CH, tramo III. Inicio km 15,300 hasta km 58,800. Fuente: Elaboración propia.



Mejoramiento Ruta 257-CH, tramo III. Km 86,500. Estancia Miriana. Fuente: Elaboración propia.

La pista que va en el lado interior de la curva es la que recibe la mayor cantidad de agua y no es capaz de evacuarla, encontrándose entonces en el punto de saturación crítica. Si a lo anterior le sumamos que, los hormigones en Magallanes no son lavados durante la aplicación de sal y que tampoco se retira al término de la temporada, la concentración de sal en la pista interna es mucho mayor que la de la pista externa ya que las lluvias irán escurriendo el químico depositándose de esta manera en la calzada y sobre todo en el hombro del HG. El detalle "A" ejemplifica el sector con mayor concentración de sal. En el rectángulo verde del gráfico de las aplicaciones de sal durante los últimos 3 años podemos ver que es sin duda uno de los sectores que más químico demandan.

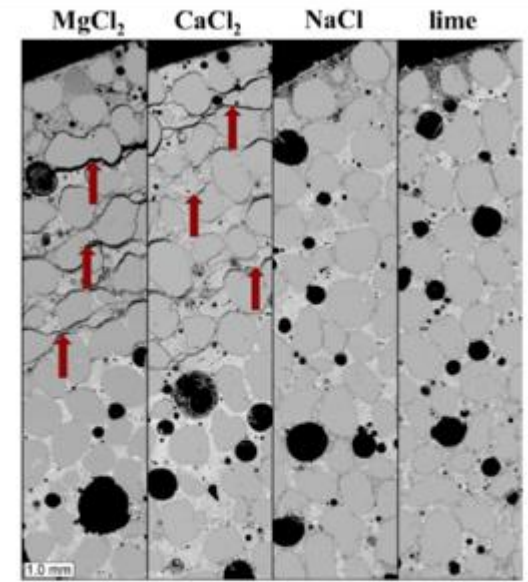


Aplicaciones de sal sector Estancia Miriana. Fuente: Elaboración propia.

Muestra N°	L-16192		Fecha de análisis
Muestras	M-3 Muestra de sal		
Fecha de toma de muestra	24-05-2021		
Hora de toma de muestra	11:00		
Na (%)	25,50		15-06-21
Cl (%)	59,25		18-06-21
NaCl (%)	64,8		18-06-21
Sulfatos (exp. como Na ₂ SO ₄) (%)	<0,1		17-06-21
Humedad (%)	0,28		07-06-21
Ca (%)	0,28		15-06-21
Mg (%)	0,03		15-06-21
Ca (exp. Como CaCl ₂) (%)	0,79		15-06-21
Mg (exp. Como MgCl ₂) (%)	0,11		15-06-21
Ca (exp. Como CaCl ₂) (mg/kg)	798,0		15-06-21
Mg (exp. Como MgCl ₂) (mg/kg)	108,5		15-06-21

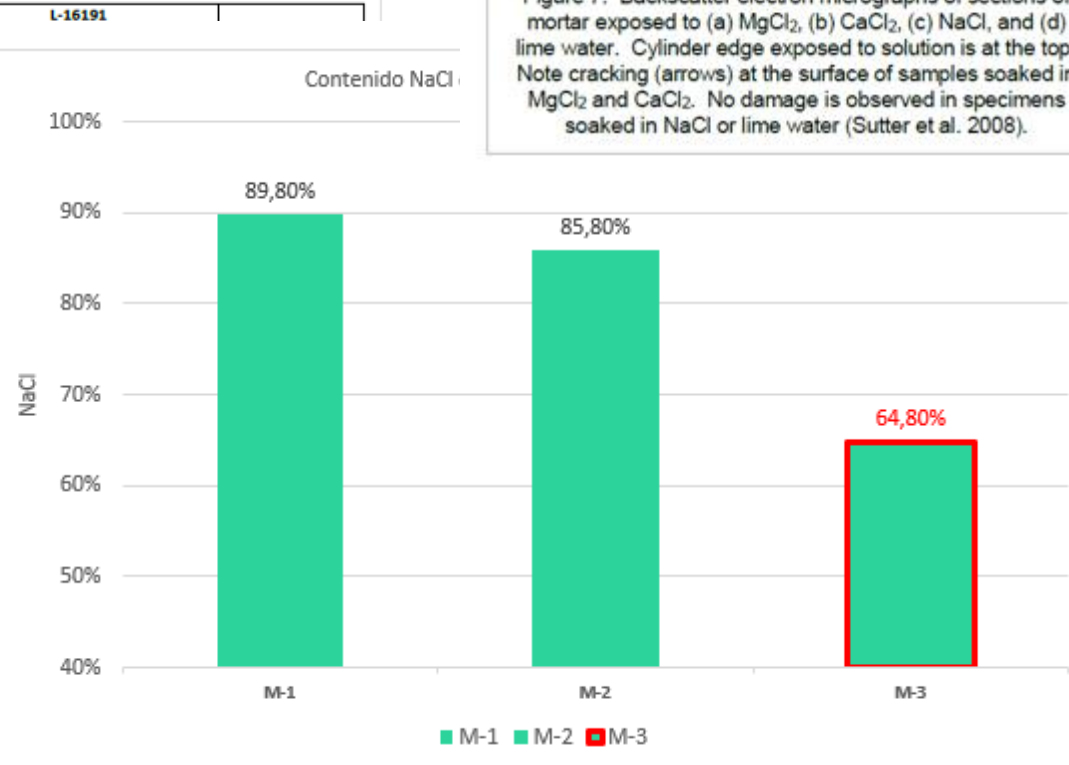
Identificación Muestras:

Muestra N°	L-16190	L-16191
Muestras	M-1 Muestra de sal	
Fecha de toma de muestra	24-05-2021	
Hora de toma de muestra	10:00	
Na (%)	35,32	
Cl (%)	59,04	
NaCl (%)	89,8	
Sulfatos (exp. como Na ₂ SO ₄) (%)	<0,1	
Humedad (%)	0,24	
Ca (%)	0,68	
Mg (%)	0,06	
Ca (exp. Como CaCl ₂) (%)	1,89	
Mg (exp. Como MgCl ₂) (%)	0,23	
Ca (exp. Como CaCl ₂) (mg/kg)	1897	
Mg (exp. Como MgCl ₂) (mg/kg)	234,3	



© 2008 South Dakota DOT

Figure 7. Backscatter electron micrographs of sections of mortar exposed to (a) MgCl₂, (b) CaCl₂, (c) NaCl, and (d) lime water. Cylinder edge exposed to solution is at the top. Note cracking (arrows) at the surface of samples soaked in MgCl₂ and CaCl₂. No damage is observed in specimens soaked in NaCl or lime water (Sutter et al. 2008).



¿ QUÉ SAL ?

Tenemos que EVITAR cualquier elemento que no sea NaCl. El daño es exponencial si contiene Mg o Ca.

**¿ CUÁNTO PUEDE AYUDAR EL TRAZADO Y GEOMETRÍA EN MANTENER
EL PAVIMENTO BAJO SU GRADO DE SATURACIÓN ?**

Si, los accidentes se siguen
produciendo en los mismos sectores
que ocurrían antes de pavimentar...
¿Qué estamos mejorando?

**¿ CUÁNTO PUEDE AYUDAR EL TRAZADO Y GEOMETRÍA EN MANTENER
EL PAVIMENTO BAJO SU GRADO DE SATURACIÓN ?**

La aplicación de sales
descongelantes debería ser
nuestro último recurso...
Lo primero es, enderezar los
caminos y eso debe SI o SI
considerar emplazar el camino
donde logre captar la mayor
cantidad de luz y viento para
mantener GRATIS la calzada
seca.

¿ CUÁNTO PUEDE AYUDAR EL TRAZADO Y GEOMETRÍA EN MANTENER
EL PAVIMENTO BAJO SU GRADO DE SATURACIÓN ?

Tenemos entonces... un camino más rápido
Considerando que, el precio del [m²] en Magallanes no es alto (expropiación), vale la pena tratar
de hacer caminos MÁS RECTOS y con mayor exposición solar.



**RUTA
257-CH**

Vista aérea de la ruta internacional 257-CH que une, el paso fronterizo San Sebastián y el Cruce de la Primera Angostura

De los 120 [km] de pavimento de hormigón que hay entre Cerro Sombrero y el paso fronterizo San Sebastián SÓLO tenemos 33,5 [km] de línea segmentada (trazado recto)



**¿ CUÁNTO PUEDE AYUDAR EL TRAZADO Y GEOMETRÍA EN MANTENER
EL PAVIMENTO BAJO SU GRADO DE SATURACIÓN ?**





**RUTA
257-CH**

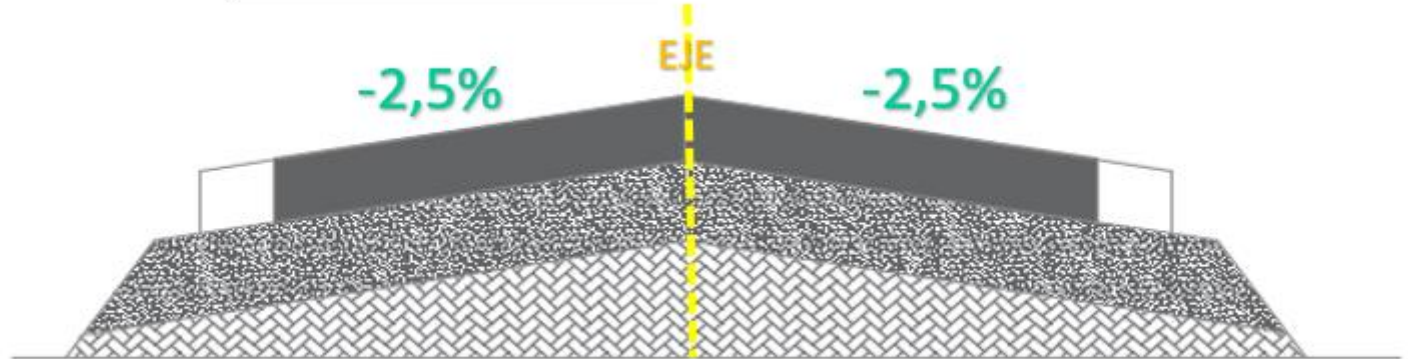
Tramos rectos

Escurre el agua

Acceso a luz solar

Viento

SITUACIÓN A. "Perfil Corona"





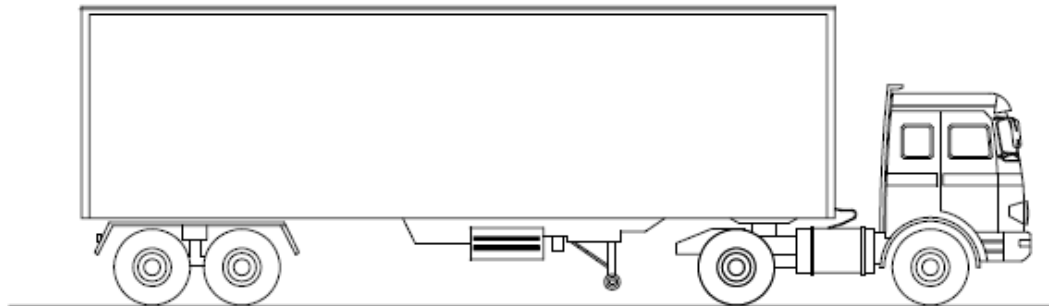
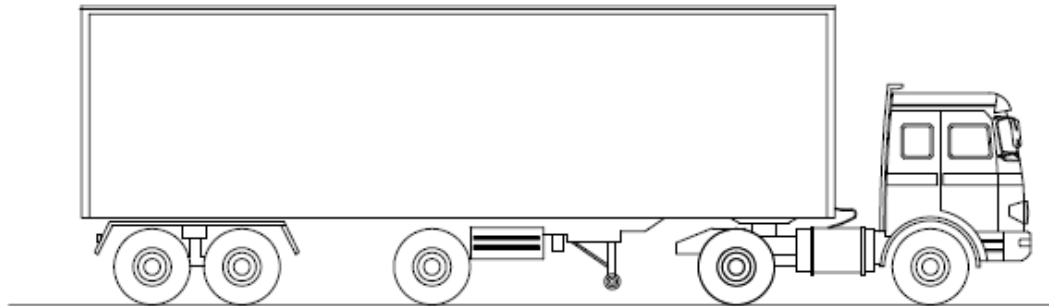
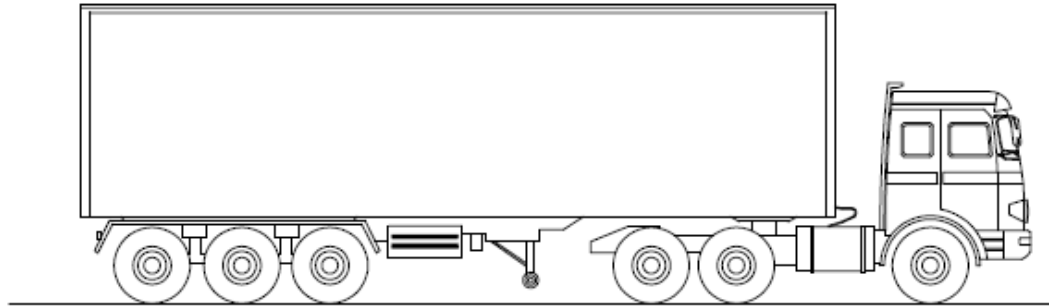
**¿ QUE SOLICITACIONES
TIENEN NUESTROS
PAVIMENTOS ?**

¿ Qué otra cosa podemos hacer para cuidar nuestro pavimento ?

¿ Estamos respetando los requisitos del diseño ?

La vida útil del pavimento depende también del buen uso

¿ Podríamos asegurar que no se exceden las cargas admisibles por eje ?



Si, consideramos que, la red vial en Tierra del Fuego en los últimos 13 años ha incrementado en casi 250 [km] y, el ingreso principal de carga es en Primera Angostura, podríamos evaluar habilitar un control de peso para los camiones de carga.

Instalar la romana en San Sebastián no nos ayuda con el cuidado del pavimento. La tarea es **PREVENIR**. Detectar el mal uso **ANTES** de que transite por las rutas.



Esta pista de pesaje construida en San Sebastián puede controlar lo que ingresa desde Argentina (TDF) que siempre es menor a lo que ingresa.

Por otro lado, instalar el pesaje en Bahía Azul ayuda y previene el mal uso de TODAS las carreteras pavimentadas construidas y no solo la 257-CH



**REVISAR EL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE CARGA QUE
ALARGA LA VIDA ÚTIL DE LAS JUNTAS**

**Seguimos usando el mismo
sistema de transferencia de carga
que hace 30 años**

**Si el problema parte por las
juntas, veamos de que otra
manera se pueden cuidar**

Concrete Pavement Thickness in. (mm)	Truck Traffic trucks/day	Dowel Diameter in. (mm)
< 7.0 (175)	< 80	not necessary*
7.0 - 8.0 (175 - 200)	80 - 100	?
8.0 - 10.0 (200 - 250)	> 100	1.25 (32)
> 10.0 (250)	> 100	1.5 (38)

[Concrete Pavement](#)
[Membership](#)
[Bookstore](#)
[Events & Programs](#)

Load Transfer

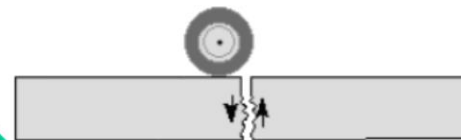
Each type of joint provides a different ability to transfer load across slabs. This ability is termed load transfer efficiency (or effectiveness). It is determined as shown in the figure. Note how both sides of the joint deflect evenly at 100% load transfer efficiency.

Load transfer is important to pavement longevity. Most performance problems with concrete pavement are a result of poorly performing joints. Distress, such as faulting, pumping and corner breaks occur in-part from joints with poor load transfer efficiency. All of these problems worsen when joints deflect greatly under loads.

Dowel bars provide a mechanical connection between slabs without restricting horizontal joint movement. They also keep slabs in horizontal and vertical alignment. When loaded by heavy vehicles, dowel bars lower joint deflection and stress in the concrete slab and reduce the potential for joint problems by increasing load transfer efficiency.

The use of dowel bars (smooth round bars) in transverse contraction joints primarily depends upon the roadway or street classification and can be determined by slab thickness. Doweled contraction joints are not usually used in light residential, residential, or secondary urban pavements, but they are used in industrial roads, major streets, highways and airports that will carry heavy vehicles for long periods. [Click here to find out when to use dowels.](#)

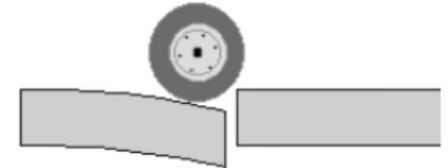
When dowels are not used, joints depend solely upon aggregate interlock for load transfer. Aggregate interlock is the mechanical locking which forms between the fractured surfaces along the crack below the joint saw cut. Reliance on aggregate interlock without dowels is acceptable on low-volume and secondary road systems where truck traffic is low and slabs are less than 8 inches thick. Ordinarily, transverse joints with dowel bars provide better load transfer than those relying strictly on aggregate interlock.



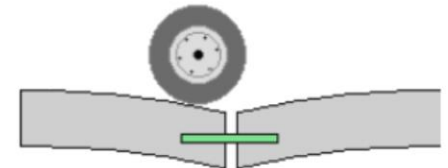
Shear between aggregate particles below the saw cut

Aggregate Interlock

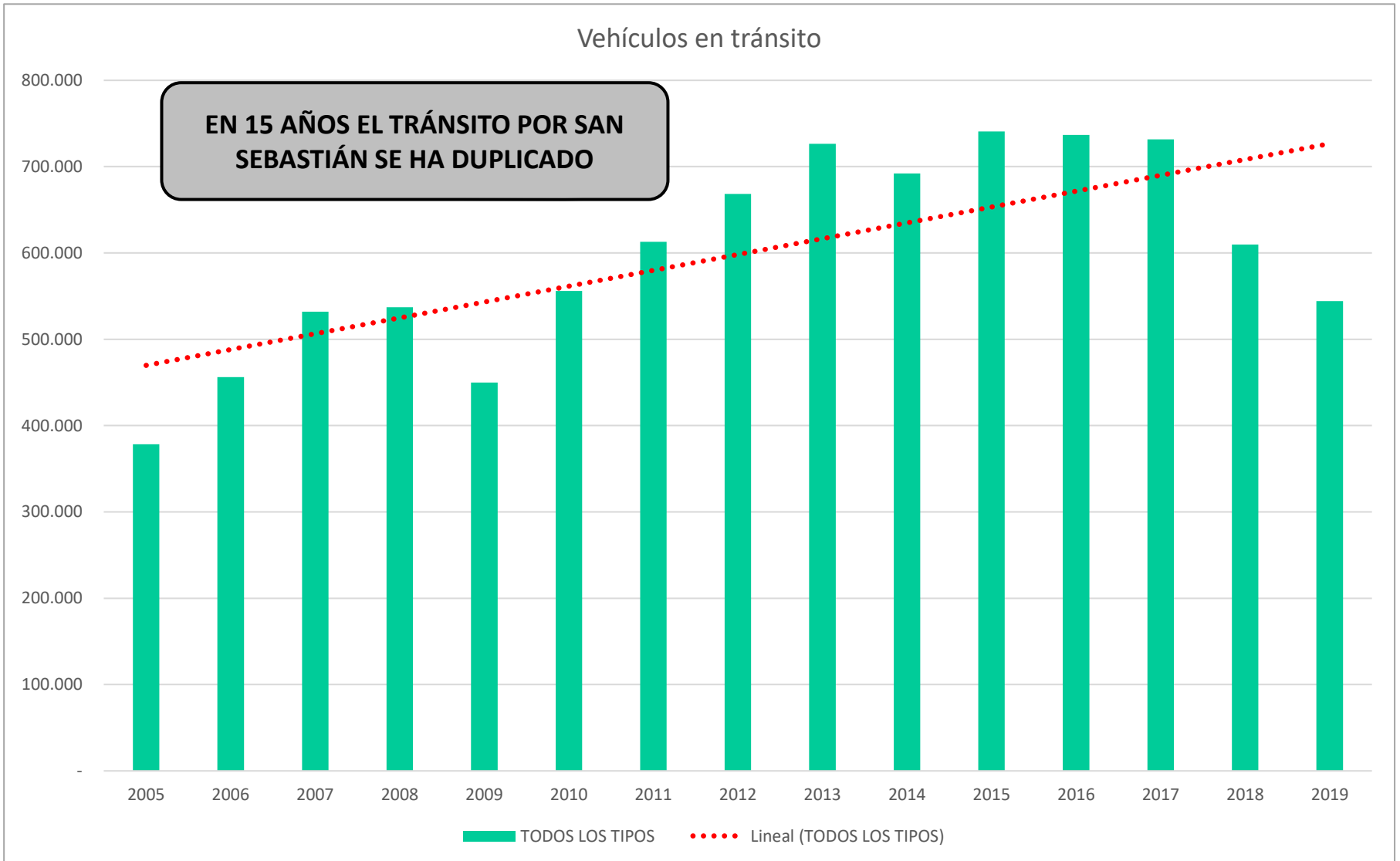
0% load transfer efficiency



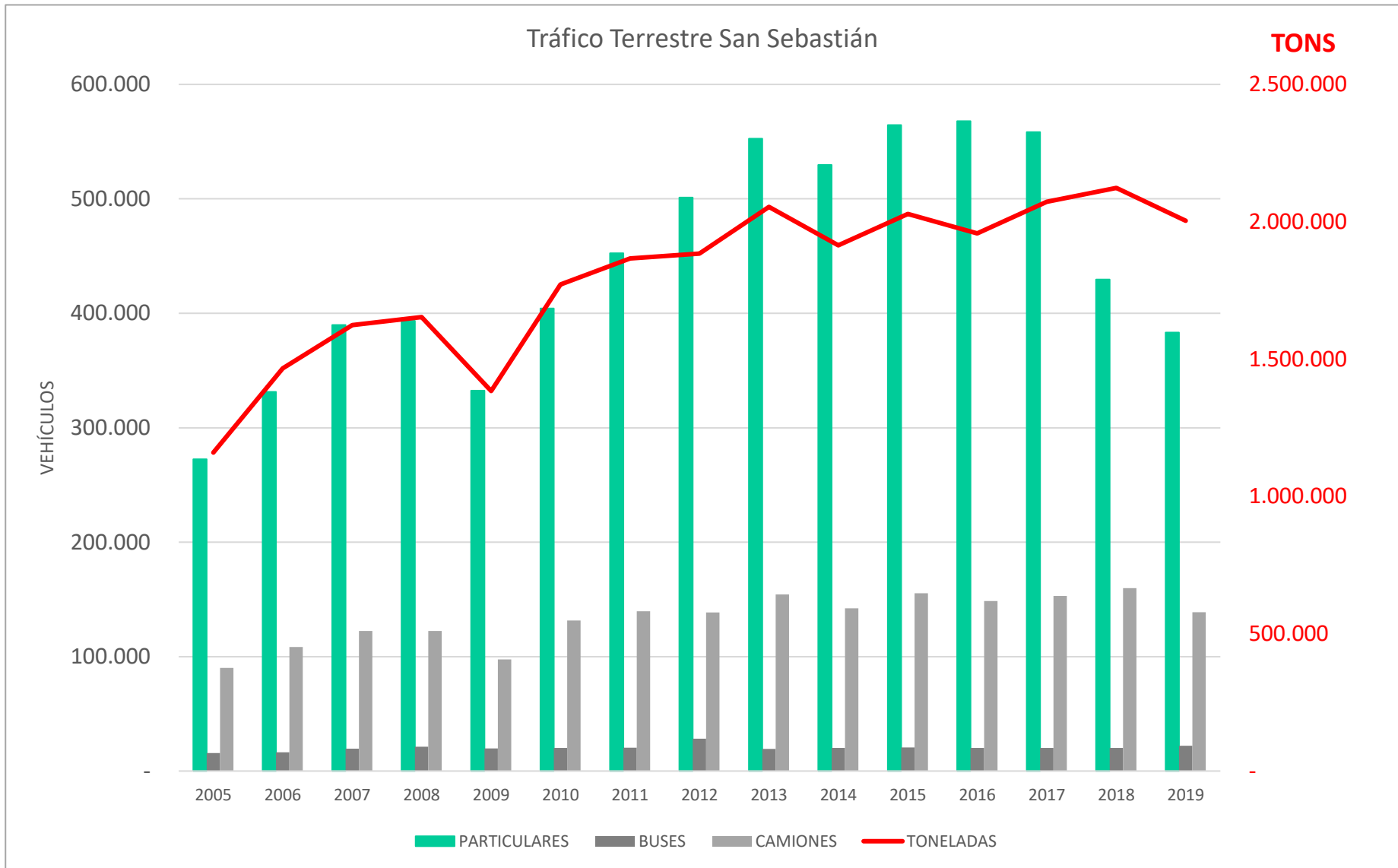
100% load transfer efficiency



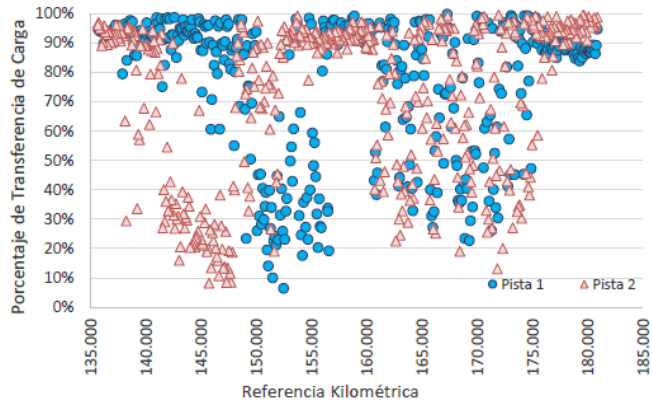
Deformed steel tiebars are used in longitudinal joints primarily to prevent lanes from separating. Also by holding slabs tightly together, they promote aggregate interlock and consequently load transfer.



**ESTE ES EL INCREMENTO REGISTRADO EN LA ADUANA, ES DECIR, NO
CONSIDERA NINGÚN MOVIMIENTO INTERNO (NACIONAL)**



**REVISAR EL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE CARGA QUE
ALARGA LA VIDA ÚTIL DE LAS JUNTAS**



**¿ BARRAS DE
TRASPASO DE
CARGA ?**

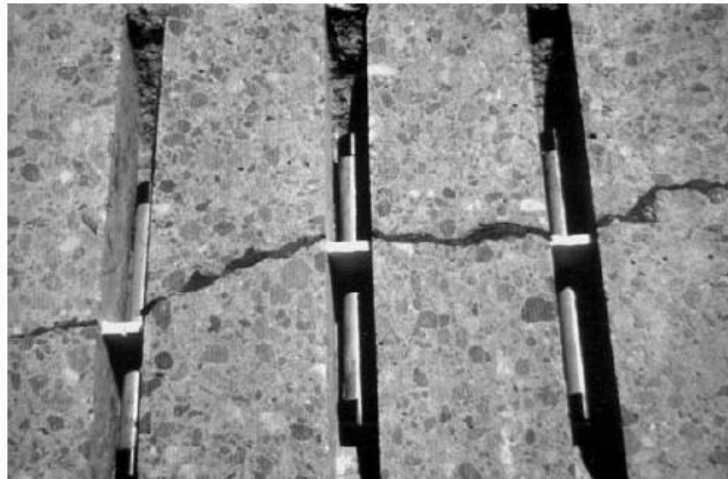


Figure 2.6. Photo showing dowel retrofit assemblies, including joint re-formers and expansion caps, ready to be cast in place.



Figure 2.3. Dowel bar slots cut using a diamond-bladed slow cutting machine across a skewed joint (note that the slots are parallel to the centerline and not perpendicular to the joint).

3.8.2.) PROFUNDIDAD Y REPASO DE CORTES DE INDUCCIÓN.

Al depender única y exclusivamente de la fricción entre ambas losas para transferir carga, el corte toma una especial relevancia que se podría mejorar. Existe un espesor determinado para la profundidad que debe alcanzar el corte que, por lo general, es de un tercio del espesor de la losa. Hoy en día, la norma americana habla de rangos entre $e/4 - e/3$, siendo "e" el espesor de la losa. Lo anterior es lógico considerando que los cortes de alivio que se ejecutan en la "ventana verde" del HG no necesitan un corte más profundo que el cuarto del espesor y la junta ya logra trabajar. Lamentablemente lo que hoy en día se exige es el repaso de estos cortes aun cuando la grieta ya se hizo y eso genera un segundo plano de falla que va a reducir la transferencia de carga y aumenta la permeabilidad del HG, ya que ingresa más agua que no tiene opción de evacuar. Esto tiene el efecto secundario que es la mayor probabilidad de que la junta falle o "se desconche".

Una vez que la junta ya ha trabajado no tiene sentido profundizar aún más el corte.

Importance of Sawcut Depth – It is important to check the contract documents for the specified width and depth of joints, and set the saws up to meet these requirements. The design depth of the initial saw cut is the minimum depth required to create a properly functioning joint. Cuts that are too shallow may not relieve stresses adequately, allowing random cracks to occur. Cuts that are unnecessarily deep require additional effort and expense (take longer and use more blades), cause unnecessary equipment wear, and reduce aggregate interlock. Saw opera-

Importancia de la profundidad de los cortes. Concrete Pavement Field Reference. ACPA.

"...El diseño de la profundidad inicial del corte es el MINIMO requerido para crear una junta que tenga un buen funcionamiento...los cortes que son innecesariamente profundos requieren un esfuerzo adicional y generan una reducción en la fricción entre losas..."



Mejoramiento Ruta Y-71, tramo entre km 0,00 al km 11,5. Pavimento de losas con geometría optimizada, delgada con fibra estructural. Actualmente en construcción. Diagrama de cortes en verde. Fuente: Elaboración propia.

En el momento que ya el HG tiene la resistencia para soportar el peso de una cortadora de pavimento tipo *soff-cut* (en verde) se realizan los cortes de alivio. Estos se hacen cada 4 losas para asegurar el HG. Una vez asegurados, se van haciendo los cortes intermedios.

Si nos acercamos a ver los cortes en verde, en muchos casos con un quinto del espesor de la losa cortado ya se logra que la losa trabaje.



RIO SECO

Fecha pavimentación

Diciembre 2019

Si no nos encargamos de mantener el sistema de drenaje de la plataforma trabajando de manera eficiente, el agua no evacúa.

¿ Qué le pasa al hormigón si alcanza su grado de saturación máximo ?

**416 Ciclos
hielo/deshielo**

Pavimento de Río Seco

- a) Trazado
- b) Aire
- c) Sal
- d) Alcohol Alifático
- e) Borde costero
- f) Saneamiento

**¿ ES
SUFICIENTE
CON TOMAR
ESTAS
MEDIDAS
CORRECTIVAS ?**

**¿ ASEGURA
QUE EL
PROBLEMA
SUPERFICIAL
NO VA A
SUCEDER ?**

HASTA ACÁ TENDRÍAMOS CONSIDERADO :

- 1) INCREMENTAR EL % DE AIRE
- 2) RESTRINGIR LA RELACION AGUA CEMENTO (a/c)
- 3) ASEGURAR UN BUEN DRENAJE DEL PAVIMENTO
- 4) ENDEREZAR LOS CAMINOS PARA DISMINUIR LA APLICACIÓN DE SALES
- 5) SELLAR LAS JUNTAS DE PAVIMENTO
- 6) LAVAR LA SUPERFICIE DE LOS PAVIMENTOS PARA EVITAR ALTAS CONCENTRACIONES DE SAL
- 7) REVISAR EL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA DE ACUERDO AL TRÁNSITO REAL
- 8) VERIFICAR LAS SOLICITACIONES Y EL BUEN USO DEL PAVIMENTO (PESA)
- 9) VERIFICAR LA COMPOSICIÓN DE LAS SALES APLICADAS
- 10) PROHIBIR LA APLICACIÓN DE SAL A LOS PAVIMENTOS NUEVOS AL MENOS 3 AÑOS.

**FALTARÍA AGREGAR UN SÓLO
FACTOR A LOS ANTERIORES...**

**CALIDAD DEL AIRE
INCORPORADO**

Si vamos a mejorar las ETE
deberíamos considerar todas las
nuevas tecnologías que se usan hoy
en día.

Lo que se ha demostrado es que, la
CALIDAD del Aire incorporado es
igual o más importante que la
cantidad.



CALIDAD DEL AIRE INCORPORADO Y EL NÚMERO SAM

Figura A

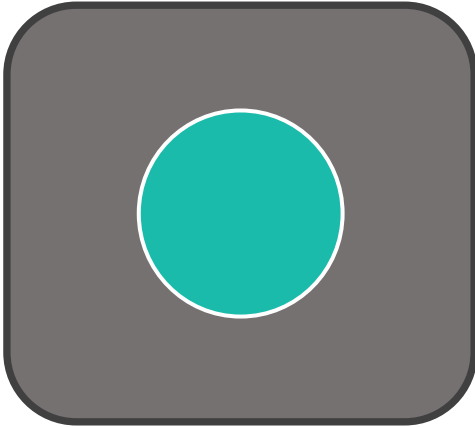
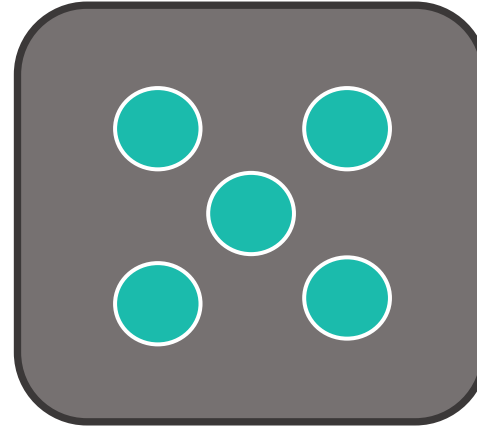
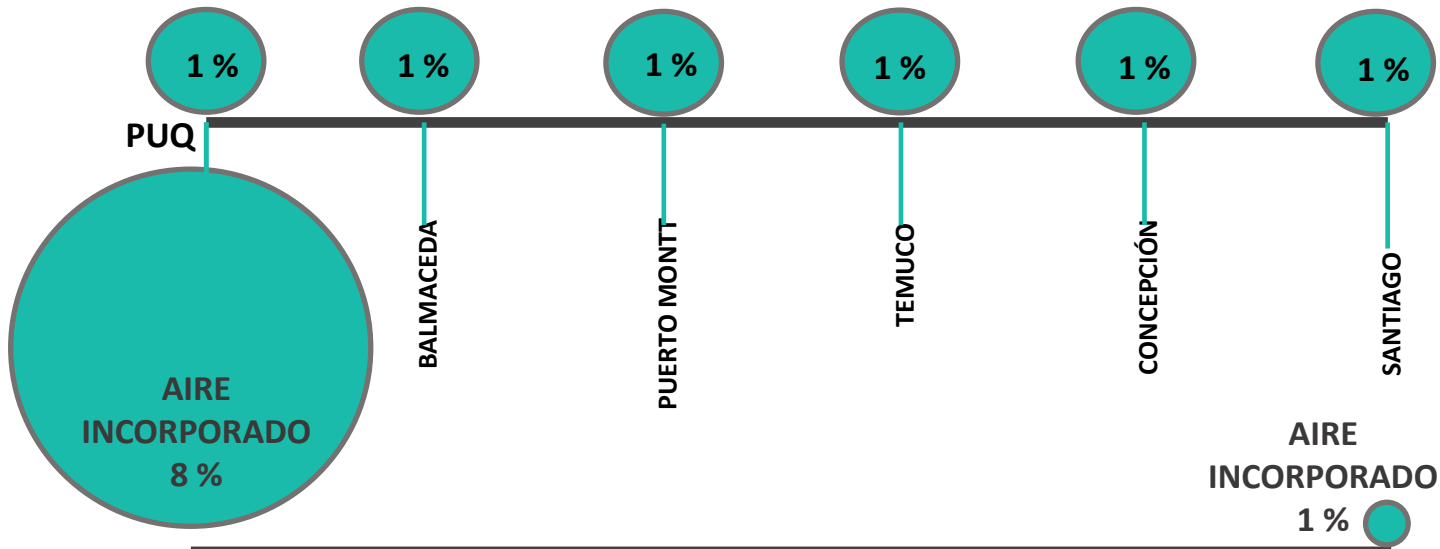


Figura B



MISMO
VOLUMEN DE
AIRE
INCORPORADO

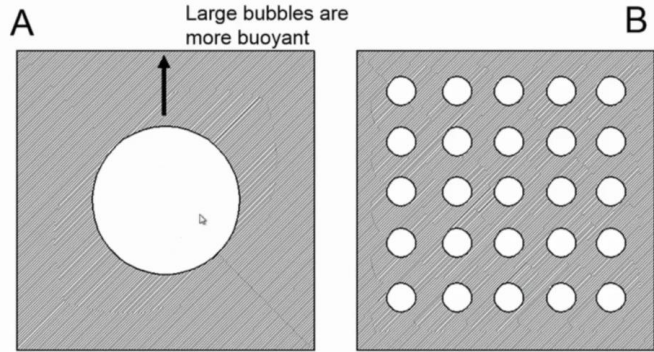
¿ CUÁL
SISTEMA ES
MÁS
EFICIENTE ?



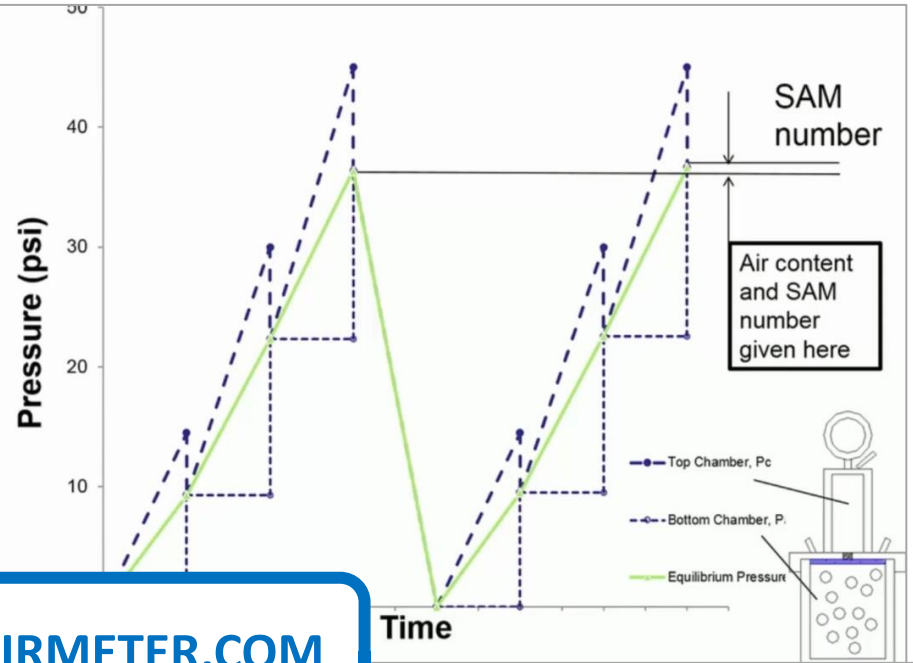
SPACING FACTOR
o
DISTANCIA ENTRE
BURBUJAS

BURBUJAS
PEQUEÑAS

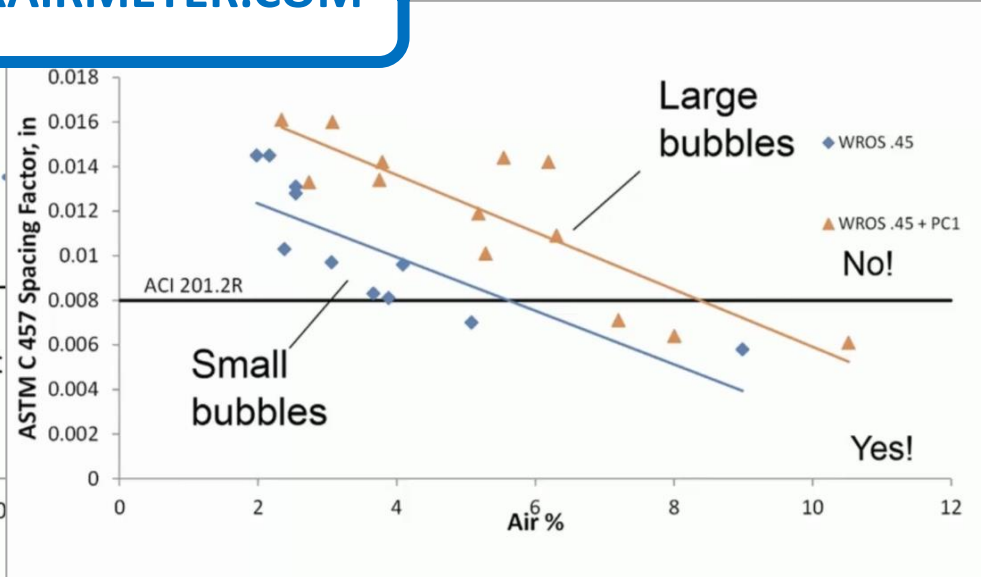
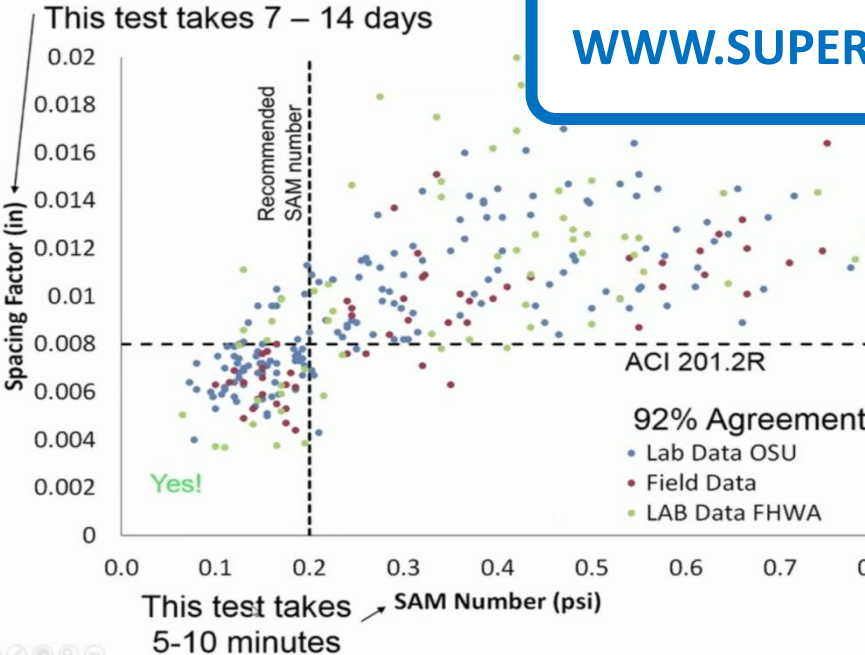
What Do You Want in an Air-Void System?



- Volume of air provided is the same for both.
- Case B has a better air void distribution.



WWW.SUPERAIRMETER.COM



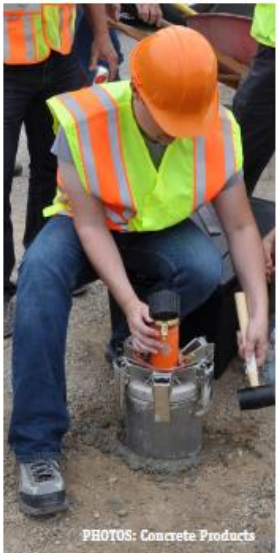
Super Air Meter gauges void spacing, freeze-thaw durability prospects



A modified version of the ASTM C231, Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method vessel, the Super Air Meter (SAM) measures air-void spacing and air content of plastic concrete in about 10 minutes. Void spacing has been shown to be a better indicator of freeze-thaw durability than total air content, SAM developers note, but challenging to pinpoint—especially in fresh concrete.

The ability to accurately measure actual air-void spacing in fresh concrete enables a lowering of air content requirements in many mixtures; in turn, practitioners can realize greater strength development in hardened slabs and structures and avoid quality control challenges rooted in high air content. Conversely, the SAM has also revealed how certain admixture combinations and construction practices can require higher air contents than typically specified to obtain the desired void spacing. Either way, the new meter allows adjustments to be made before the concrete hardens to ensure freeze-thaw durability.

The SAM's primary modification from the standard ASTM C231 device is that two sequential pressure steps are applied to the concrete, at 14.5, 30, and 45 psi, to obtain a deformation figure. The difference between the first and second pressure steps yields the SAM number, which increases along with the average spacing between air voids. Excess spacing alerts users of the concrete's susceptibility to freeze-thaw deterioration.



PHOTOS: Concrete Products



Developed at Oklahoma State University, the Super Air Meter helps users better understand freeze-thaw durability potential before their concrete is placed. Technicians reach a SAM number through two cycles involving three levels of chamber pressure.

A SAM number of 0.20 has been shown to correctly determine over 90 percent of the time whether the spacing between bubbles meets ACI Committee 201 Durability of Concrete guidelines. That benchmark reflects investigation of 300-plus lab and field mixtures measured at Oklahoma State University and the Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center in Virginia.

As part of an ongoing Transportation Pooled Fund Program study, 10 state departments of transportation initially deployed the SAM in field concrete work, including Illinois DOT (staff shown here). Test ease and accuracy have expanded the equipment's user base: Agencies in 20 states and Canada are gauging air-void spacing with the SAM; staff in Michigan and Oklahoma departments have begun calling for measurements with the equipment in project specs.

Durability indicators from SAM measurements are also being compared to hardened specimens' performance reflected in ASTM C666, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. An AASHTO Provisional Standard referencing the equipment has been approved in early-2015 balloting. Overseeing the SAM validation is Oklahoma State University's Tyler Ley, Ph.D., P.E., associate professor of Civil and Environmental Engineering and Williams Foundation Professor; 405/744-5257; www.tylerley.com. More information can be found at www.superairmeter.com.

The Super Air Meter (SAM)

By Tyler Ley, Ph.D., P.E. - Associate Professor of Civil and Environmental Engineering, Williams Foundation Professor, Oklahoma State University

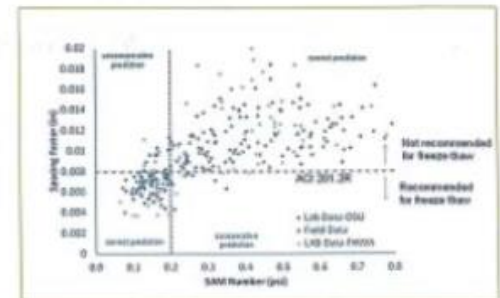


The Super Air Meter (SAM) is a testing device that measures both the air void spacing and air content of plastic (fresh) concrete in about 10 minutes. Air void spacing has been shown to be a better indicator of concrete freeze-thaw durability than total air content; however, until now, it has been challenging to measure in fresh concrete. By being able to measure the actual air-void spacing in the fresh concrete, the meter helps users better understand the freeze-thaw durability of their concrete before it is placed.

The device is a modified version of the typical pressure method (ASTM 231). The primary modification is that two sequential pressurizations are applied to the concrete. The deformation of the concrete is first investigated at 14.5, 30, and 45 psi, the pressure is then released, and the same pressure steps are used again to measure the deformation. The differences between the first and second pressure steps are used to calculate the SAM number, which is correlated with the average spacing between air voids in the concrete mixture. If the spacing between the voids is too high then this could mean the concrete is susceptible to

freeze-thaw deterioration. A SAM number of 0.20 has been shown to correctly determine over 90% of the time whether the spacing between the bubbles meets the recommendations of the ACI 201 Concrete Durability Committee.

This device has been investigated using more than 300 lab and field mixtures at Oklahoma State University and the FHWA Turner Fairbanks Laboratories. As part of an ongoing Pooled Fund Study, the SAM is being used by 10 different DOTs on field concrete. The results of the SAM are also being compared to performance in the ASTM C666 rapid freeze-thaw test. An AASHTO Provisional Standard for this test has been prepared and is being balloted in February. The meter is currently being used in 20 different states and one Canadian Province. The SAM has been specified in Oklahoma and Michigan. More details and purchasing information can be found at www.superairmeter.com.



La calidad del Aire se puede medir, en tiempo real con un nuevo equipo que se llama SAM meter. (SuperAirímetro)

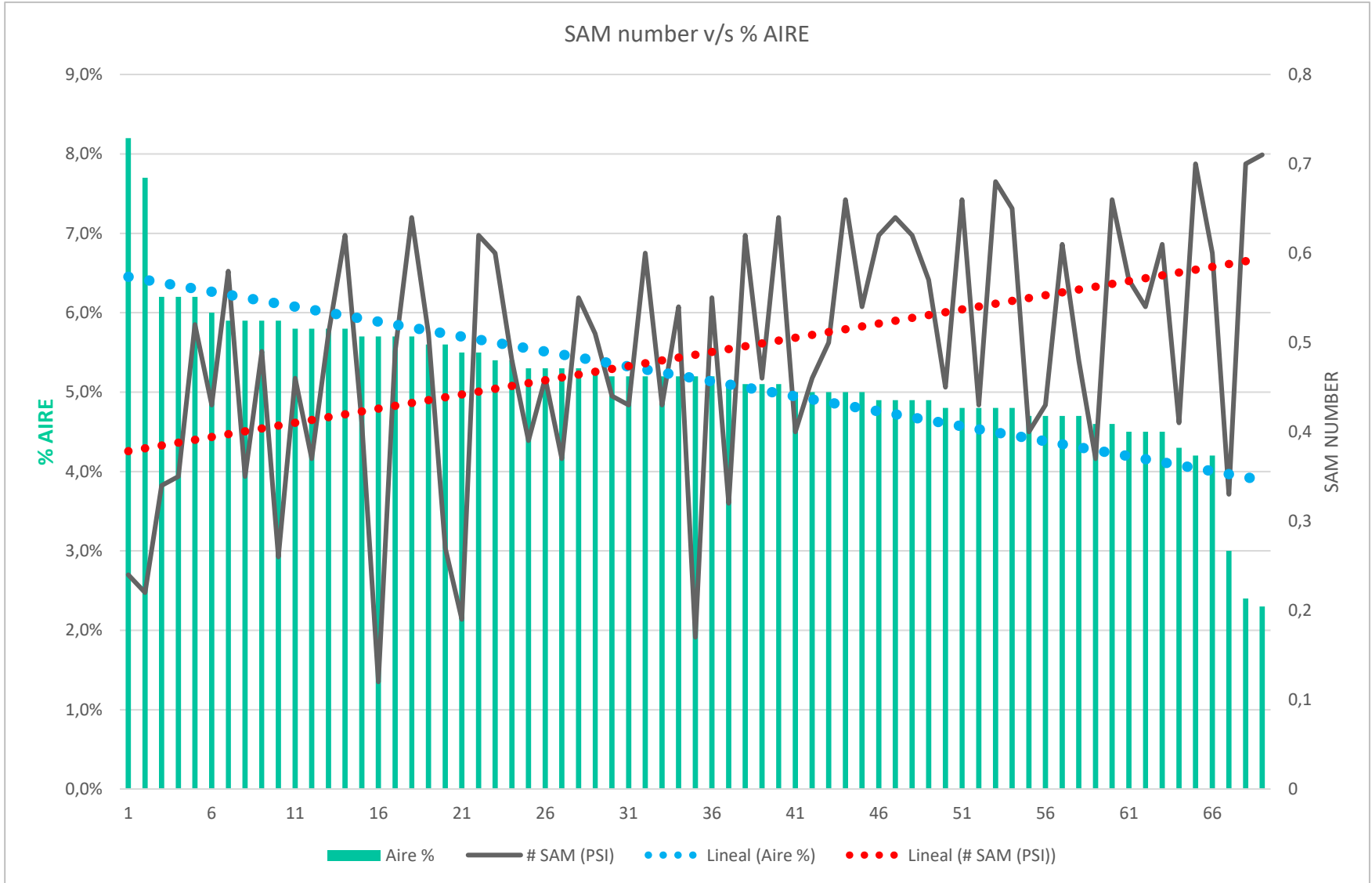
Nos entrega el % de Aire total (lo que se hace hoy en día) y luego de un proceso iterativo, un SAM number.

Este SamNumber, que aparece digital en el display, nos dirá si nuestro aire es de buena o mala calidad













Extracción de testigos, aserrado y embalaje. Ruta Y-65 tramo 2. Fuente: Elaboración propia.



Extracción de testigos, aserrado y embalaje. Ruta Y-65 tramos 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.



October 15, 2021

Astrid Vilicic,
 Constructora VILICIC S.A.
 Barrio Industrial Sitio 3
 Punta Arenas
 CHILE

Subject: Hardened Air Void Analysis

Ms. Vilicic,

This report is a summary of the 12 cores from Y-65 in Patagonia, Chile that were sent to the Cooper Engineering Laboratory in Stillwater, OK, USA. Each core was roughly 4" in diameter and 6" in length. You requested a Hardened Air Void Analysis (ASTM C457) to be conducted on the samples to determine the air content (%).

For this testing, the cores were cut into 4" x 4" x 1/2" slabs with a wet saw. Next, the slabs were polished over a series of diamond plates to flatten and polish the surface of the concrete. To highlight the air voids, the concrete samples were colored black with a sharpie marker and white barium sulfate powder (< 1 micron in diameter) was used to fill the air voids. Any air voids within an aggregate were then colored under a microscope. Finally, the slab was investigated under an automated microscope.

This process meets ASTM C457 method C. My team runs this analysis on hundreds of samples each year from locations all around the United States. I developed the sample prep and analysis process described and I was a co-author of the ASTM C457 method C process. My team regularly participates in round robins for ASTM with this test method. You can learn more about me at www.tylerley.com.

A collection of the results from the analysis are below in the table. This shows the air content and the spacing factor. While most specifications require a certain air content in the concrete, it is widely recognized by concrete experts and in ACI 201.2R – "Guide to Durable Concrete" that the air void spacing is more important than the air volume.

The reason the air void spacing is important is that water can only travel a certain distance on freezing before it causes damage to the concrete. This distance is reduced by including entrained air. If the entrained air voids are small then for a given volume there will be more protection than if these air voids are larger. If one only measures the air volume then they will not know if the voids are small or large. The spacing factor is a method to make a direct measurement of the air voids in the concrete.

The recommended spacing factor as determined by ASTM C457 is 0.008". As the spacing factor increases beyond this number then the long term freeze thaw durability is brought into question. This means that a mixture can have an air volume that meets the specification but if the air void spacing is poor then the mixture can still be susceptible to freeze thaw damage. In the table below, the spacing factor results in white are at 0.008" or below and are satisfactory. The spacing factor results in yellow are somewhat above 0.008" and this shows some concern about the freeze thaw durability. The results in red have poor spacing factors and are highly susceptible to freeze thaw durability.

The simplest way to improve the spacing factor in a concrete mixture is to increase the air volume. If the specification has a maximum allowable air volume then this can be challenging. It is recommended to either not have a maximum air volume or set that air volume at 10% to allow contractors to provide an adequate air void system.

Because of the inadequacy of using the air volume to predict freeze thaw performance, many states in the USA are using a new tool to measure the freeze thaw durability of their fresh concrete. This tool is known as the Super Air Meter or SAM and the test method is described by AASHTO TP118. The SAM is a modified air meter that can measure both the volume of air and a term known as the SAM Number. The SAM Number has been shown by many authors to correlate to the spacing factor or the air void spacing in fresh concrete. By using the SAM, highway agencies can determine in the fresh concrete if they have the correct air void spacing as well as the traditional air volume. This provides more confidence that satisfactory air void spacing is being provided in the fresh concrete. A paper has been included that describes the SAM and gives a large number of lab and field data points to validate the performance.

As stated above, it is good practice to either remove the maximum air volume or place the limit at a very high value to allow the mixture to be adjusted to provide the correct SAM Number. If this is not done then the testing may show that a higher air content should be supplied and the specification will not allow this to happen.

For example, the average air content provided is 5.4% in the hardened concrete. From what I am told, this is right at the upper limit of the allowable air content. As can be seen from the data, there are several measurements that have spacing factors above 0.008" that are shown in yellow and red. The only way that these can be addressed with these materials is by increasing the air content of the concrete and it appears that this is not possible under your current specification.

I suggest you set your maximum air content to be 5.5% to give your contractors more flexibility to provide you a freeze thaw durable concrete. I also recommend that you start require the Super Air Meter in the trial batching and in some measurements in the field to ensure that you are obtaining freeze thaw durable concrete. I can provide detailed information on the methods that are used by the United States Department of Transportation if you would like.

**AIRE REAL PROMEDIO TESTIGOS 5,4 %
 AIRE MÁXIMO PERMITIDO 5,5 %**

**SPACING FACTOR AVG 0,0093" [in]
 MÁXIMO RECOMENDADO 0,008" [in]
 ESTAMOS UN 16,25% SOBRE**



Table 1. Recommended Air Contents for Durable Concrete

Maximum size aggregate		Total target air content, percent*		Maximum air-void spacing factor**	
in.	mm	Severe exposure	Moderate exposure	in.	mm
3/8	9.5	7.5	6	0.010	0.25
1/2	12.5	7	5.5		
3/4	19.0	6	5		
1	25.0	6	4.5		
1 1/2	37.5	5.5	4.5		
2	50.0	5	4		

* A reasonable tolerance for air content in field construction is -1 to +2 percentage points.

** Can be measured in hardened concrete according to ASTM C 457, or in fresh concrete with the Air Void Analyzer (AVA).

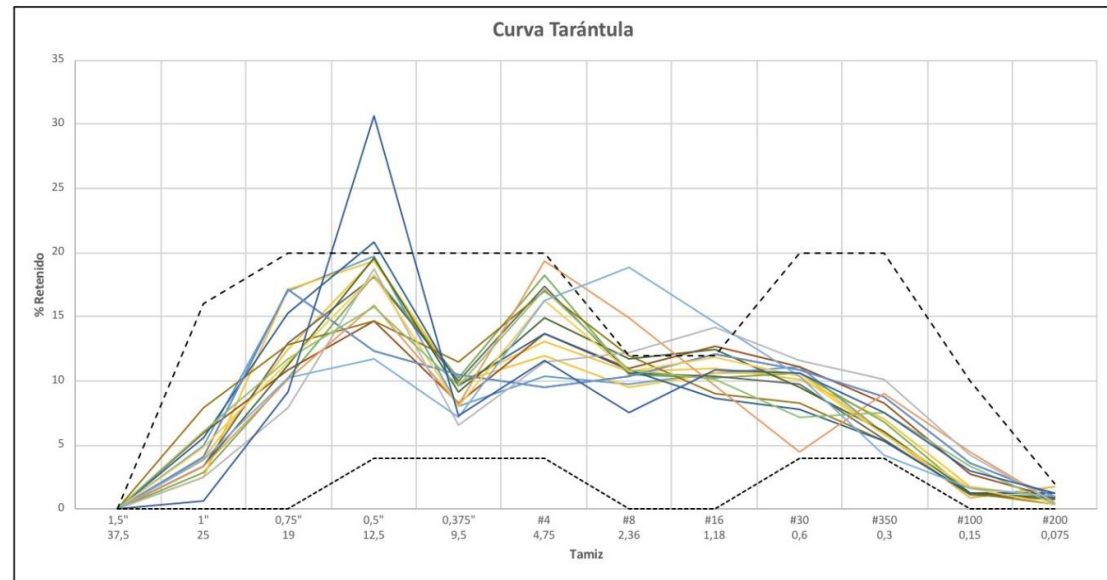
Table 2. Maximum Permissible Water-Cement Ratio for Durable Concrete Pavement

Type of exposure	Maximum water-cementitious ratio by weight
Freezing/thawing with deicing chemicals	0.45
Severe sulfate exposure [water-soluble sulfate (SO ₄) in soil > 0.20 % by weight]	0.45
Moderate sulfate exposure [water-soluble sulfate (SO ₄) in soil of 0.10 to 0.20 % by weight]	0.50

CONTRATO	FECHA INICIO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Mejoramiento Ruta Y-565, Acceso a Rio Seco, Km.0,000 al Km.8,69117, Etapa II, Pavimentación, Provincia de Magallanes, XIIª Región, Código BIP Nº 20166113-0	MAYO 2009	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Espesor pavimento horm.	20 cm
		Aire	4,0% ± 0,5%
"Mejoramiento Ruta Y-629, Porvenir-Aeropuerto Capitán Fuentes, Km. 0,000 al 4,910, Porvenir, Tierra del Fuego, XIIª Región". Cód. BIP 20135680-0	MAYO 2009	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Espesor pavimento horm.	18 cm y 20 cm sector empalme seg
		Aire	4,0% ± 0,5%
Mejoramiento Ruta 9, Punta Arenas-Fuerte Bulnes, Etapa II, Sector Río Amarillo - Fuerte Bulnes, Km 34,061 al 42,060, Magallanes, XIIª Región. Cód. BIP: 20158231-0	JUNIO 2009	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Espesor pavimento horm.	20 cm
		Aire	4,0% ± 0,5%
Ampliación Ruta 9, Punta Arenas - Aeropuerto, Tramo Km. 7,773 al Km. 12,263, Provincia de Magallanes, Región de Magallanes y Antártica Chilena.	SEPTIEMBRE 2010	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Aire	4,0% ± 0,5%
Mejoramiento Ruta 257-Ch (Ex Ruta Y-79), Sector Cerro Sombrero-Onaissin, Tramo Km. 0,000 al km. 15,300, Provincia De Tierra Del Fuego, Región De Magallanes Y Antártica Chilena.	ABRIL 2011	Calzada 0,000 al km.15,3	
		Tipo Hormigón	HF 5,3
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Espesor pavimento horm.	14 cm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Resistencia residual	HFr 1,2
		Fibra	2,5 kg/m3
Alcohol alifático	Se exige		
Mejoramiento Ruta 9 Punta Arenas - Fuerte Bulnes (II), Sector Río Amarillo-Fuerte Bulnes, Tramo Dm. 42.060 al Dm. 52.306, Magallanes y Antartica Chilena	MARZO 2011	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Aire	4,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
Mejoramiento Ruta 257-Ch (Ex Ruta Y-79) (II), Sector Cerro Sombrero-Onaissin, Tramo Km. 58,800 al km. 78,48904, Provincia De Tierra Del Fuego, Región De Magallanes Y Antártica Chilena.	AGOSTO 2011	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Espesor pavimento horm.	22 cm
		Aire	4,0% ± 0,5%
Reposición Ruta 255-CH, Sector Gobernador Phillipi-Monte Aymond, Tramo Km. 0,000 al Km. 15,1793, Provincia de Magallanes, Región de Magallanes y Antártica Chilena.	FEBRERO 2012	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Aire	4,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
Ampliación Ruta 9, Punta Arenas-Aeropuerto, Tramo 3, Km 13.66861 Al Km 18.05000, Comuna De Punta Arenas, Provincia De Magallanes, Región De Magallanes Y Antártica Chilena.	MAYO 2013	Tipo Hormigón	HF 4,6
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	MC vol. 5 ítem 5.410.2
		Aire	4,0% ± 0,5%

CONTRATO	FECHA INICIO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Mejoramiento Ruta 257-Ch (Ex Ruta Y-79) (III), Sector Cerro Sombrero-Onaissin, Tramo Km. 15,3 al km. 58,8, Provincia De Tierra Del Fuego, Región De Magallanes Y Antártica Chilena.	JUNIO 2013	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Espesor pavimento horm.	15 cm
		Aire	5,0% ± 1%
		Resistencia residual	HFr 1,0
		Fibra	3,0 kg/m3 km.49,990-km.58,8
Mejoramiento Ruta 257-Ch, Sector Onaissin – San Sebastián, Tramo Km. 135,74000 Al Km. 180,90497; Comuna De Porvenir, Provincia De Tierra Del Fuego, Región De Magallanes Y Antártica Chilena.	ABRIL 2015	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
		Shilstone	
Mejoramiento Ruta 251 CH (Ex Y-205), Castillo – Frontera, tramo Dm 29,15 al 6.340,00, comuna Torres del Payne, Provincia Última Esperanza, Región Magallanes Y Antártica Chilena.	ENERO 2016	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
		Shilstone	
Mejoramiento Ruta Y-65, Porvenir-Manantiales, Etapa I, Tramo 4, Km. 109.880 al 119.880,223, Tierra del Fuego, Región de Magallanes y Antártica Chilena.	ENERO 2016	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
		Shilstone	
Mejoramiento Ruta Y-65, Porvenir-Manantiales, Etapa I, Tramo 3, Km. 90 al 109.880 Tierra del Fuego, Región Magallanes Y Antártica Chilena.	FEBRERO 2016	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
		Shilstone	
Mejoramiento Ruta Y-65, Porvenir – Manantiales, Etapa I, Tramo 2, Km. 55.000,00 Al Km 90.000,00, Tierra del Fuego, Region Magallanes y Antartica Chilena.	SEPTIEMBRE 2017	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Aire	5,0% ± 0,5%
		Anexo B norma NCh 163 cumplimiento bandas 2,3,4 y 5	
		Shilstone	
"Mejoramiento Ruta Y-71 Porvenir -Onaissin, tramo 1, sector Porvenir -Laguna Santa María, tramo Dm 0,00 - Dm 11.500,00, Provincia Tierra del Fuego, Región de Magallanes y Antártica Chilena, Programa: Plan Especial Desarrollo Zonas Extremas, COD. BIP N°30464641-0, ID.: 589713-1-O118, SAFI N°279.953	AGOSTO 2019	Tipo Hormigón	HF 5,0
		Tamaño Máximo Absoluto Árido	40 mm
		Espesor pavimento horm.	13 cm
		Aire	5,0% ± 1,5%
		Resistencia residual	HFr 1,0
		Fibra	2,5 kg/m3
Shilstone 2002			

COMPLEMENTAR LOS GRÁFICOS QUE SE EXIGEN HOY (SHILSTONE) CON LA CURVA "TARÁNTULA" QUE ES UNA ACTUALIZACIÓN DE LO MISMO QUE INCORPORA MÁS VARIABLES



LOS ÁRIDOS
REPRESENTAN
EL 70% DEL
VOLÚMEN DE
HORMIGÓN

¿ Por qué en algunos lados no se producen las fallas superficiales ?
¿ Qué podemos replicar ?

Ruta Y-65

Porvenir – Manantiales

Fecha confección

Dic/2016

Años de servicio 7

Ciclos acumulados

182

EL DISEÑO DE NUESTROS PAVIMENTOS DEBE CONSIDERAR LOS ALTOS CICLOS DE HIELO Y DESHIELO QUE TIENEN DISTINTOS LUGARES DE NUESTRA REGIÓN.

COMO ESO NO LO PODEMOS CAMBIAR, VALE LA PENA “AYUDAR” AL HORMINGÓN MEJORANDO LOS TRAZADOS DE MANERA DE EVITAR LA SATURACIÓN EN LA PLATAFORMA

CONSIDERAR EL PERFIL CORONA CON RADIOS DE CURVAS MÁS AMPLIOS

LA APLICACIÓN DE SALES DEBERÍA CONSIDERARSE EN CASOS PUNTUALES



REVISAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA
DE LAS SALES DESCONGELANTES

PROHIBIR EL USO DE SALES EN EDADES
TEMPRANAS DEL HORMIGÓN

SI DEPENDEMOS SÓLO DE LA
TRABAZÓN DE LAS LOSAS PARA
TRANSFERIR CARGA, HAY QUE TRATAR
DE NO REPASAR LOS CORTES

REVISEMOS EL SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE CARGAS
DE ACUERDO AL USO Y
TRÁNSITO ACTUAL

REVESTIMIENTO DE LAS
BERMAS DE LOS
PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

LAVEMOS LOS
PAVIMENTOS DESPUÉS
DE APLICAR SAL

SELLEMOS TODAS LAS
JUNTAS DE LOS
PAVIMENTOS PARA
EVITAR LA SATURACIÓN
Y EL INGRESO DE SALES
A ELLAS

INCREMENTAR EL % DE
AIRE INCORPORADO EN
LOS HORMIGONES A UN
6,5% MÍNIMO SIN
RESTRINGIR EL MÁXIMO

INCORPOREMOS EL
NUEVO AIRÍMETRO
PARA PODER IR
REGISTRANDO NUESTRA
PROPIA BASE DE DATOS

RESTRINGIR LA
RELACIÓN A/C A UN
MÁXIMO DE 0,45



Seminario

“TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN EN ZONAS EXTREMAS”



DURABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ASTRID VILICIC MILOVIC
Ingeniero Civil en Obras Civiles