



## PROPUESTA

---

# ZONIFICACIÓN NACIONAL PARA DETERMINAR EL GRADO DE EXPOSICIÓN POR LA ACCIÓN DE CICLOS DE CONGELACIÓN Y DESHIELO

---

SANTIAGO - MAYO 2024

**Foto Portada:** Ruta Internacional CH-257 al sur de Cerro Sombrero, Tierra del Fuego. Gentileza: Astrid Vilicic M.

# COMISIÓN DE CONSTRUCCIÓN CON HORMIGÓN

## INTEGRANTES

<b>Filiación</b>	<b>Representante</b>
Aditivos	Arturo Holmgren
Consultoría	Hernan Medina
Construcción	Armando Quezada (Presidente)
Premezclados	Marjorie Córdova
Consultoría	Patricio Tapia
Consultoría	Renato Vargas
Consultoría	Yuri Tomicic (Secretario)
Laboratorio	Lilian Berríos
Docencia	Edgardo González
Consultoría	Federico Delfin
ICH	Augusto Holmberg
Consultoría	Bernhard Paul
Consultoría	Luis Ebensperger
Construcción	Salvador Nasra
Consultoría	Rodrigo Reyes
Consultoría	José M. Pascual
MINVU	Susana Jara
Consultoría	Jorge Del Pozo
MOP	Cristian Vargas



## COMITE DE DURABILIDAD

### INTEGRANTES

Marjorie Córdova

Jorge del Pozo (Presidente)

Luis Ebensperger

Augusto Holmberg

Arturo Holmgren

Hernán Medina

Carmen Paz Muñoz

José Miguel Pascual

Rodrigo Reyes

Sergio Vidal



## PRESENTACIÓN

Uno de los nuevos aspectos que se incorporaron a la actualización de la norma NCh170:2016, tiene relación con la especificación por durabilidad del hormigón. En ese sentido, uno de los aspectos que se agregó a la normativa es el que se refiere a la exposición del hormigón a ciclos de congelación y deshielo. Sin embargo, aún persisten dudas respecto a cómo especificar el nivel o magnitud del ataque al hormigón cuando éste se ve enfrentado a ciclos de congelación y deshielo, especialmente dadas las características propias del territorio nacional.

Por este motivo, la Comisión de Construcción en Hormigón del ICH, a través de su Subcomité de Durabilidad han preparado el presente documento, el que busca aclarar las dudas y establecer una zonificación para determinar el grado de exposición por la acción de ciclos de congelación y deshielo como aporte a la especificación por durabilidad del hormigón.

El ICH quisiera hacer un reconocimiento al trabajo desarrollado por el Subcomité de Durabilidad liderado por el Sr. Jorge del Pozo y, en especial, destacar el significativo aporte del Sr. Luis Ebensperger y la Sra. Carmen Paz Muñoz.

Augusto Holmberg F.  
Gerente General  
Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile



# INDICE

## INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.</b> .....	<b>12</b>
3.1 Climas presentes en Chile .....	12
3.2 Condicionantes para la ocurrencia de la Congelación .....	16
3.2.1 Temperaturas mínimas diarias .....	16
3.2.2 Ocurrencia de Ciclos de Congelación/Deshielo .....	17
3.2.3 Cantidad acumulada de Ciclos .....	19
3.2.3 Grado de Saturación del Hormigón .....	20
3.2.5 Simultaneidad de condiciones .....	23
3.3 Flujo de Verificación .....	24
3.3.1 Temperaturas mínimas .....	24
3.3.2 Cantidad de ciclos críticos .....	24
3.3.3 Análisis de Simultaneidad .....	24
3.3.4 Ejemplos de Aplicación .....	24
<b>4. ZONAS GEOGRÁFICAS SEGÚN CANTIDAD DE CICLOS</b> .....	<b>27</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

La nueva norma de hormigones NCh170:2016 de Hormigones introdujo el concepto de Durabilidad del hormigón, asociado a la acción de agentes agresivos.

En relación a la condición de clima frío, o sea a la presencia de ciclos de congelación y deshielo, que, durante la vida útil de hormigón producirán un deterioro acumulativo en el tiempo, la normativa define en el punto 6.4.1 cuatro niveles de agresividad, dependiendo de la ocurrencia simultánea de ciclos de hielo/deshielo y a la presencia de suficiente humedad, y del uso de sales descongelantes.

La Tabla 1-1 resume esta situación, donde se ha incluido una breve descripción del tipo de elemento sometido a la acción ambiental:

Tabla 1-1: Descripción resumida de Grados de Exposición

	Grado de Exposición	Tipo de Estructura	Mín. Grado de Resistencia	Aire (%)
F0	Hormigón no expuesto a congelación y deshielo	Todas	Sin restricción	Sin restricción
F1	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad	Interior de estructuras o estructuras protegidas	G30	4,5 a 6,0
F2	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con la humedad	Exterior de estructuras sin presencia de sales	G30	5,5 a 7,5
F3	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	Pavimentos y superficies de estructuras viales en contacto directo o salpicaduras con sales descongelantes	G35	5,5 a 7,5

Nota: el contenido de aire queda especificado en la Tabla N° 4 de la NCh170 de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido.

# 2. OBJETIVOS

Proponer una zonificación a nivel nacional que permita identificar de acuerdo a la localización de un proyecto, el Grado de Exposición que corresponde aplicar para la condición de Congelación/Deshielo.

Este documento se refiere exclusivamente al análisis de las condiciones agresivas potenciales o esperadas en una estructura de hormigón de acuerdo a la ubicación geográfica y ambientales en que ésta se ubique, relacionadas al deterioro esperado por efecto de la ocurrencia de ciclos de Congelación/Deshielo en el tiempo.

La ejecución de un análisis de mitigación de esta acción agresiva será función del experto en durabilidad.

## 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

A continuación, se presenta paso a paso el análisis realizado en la generación de esta propuesta.

### 3.1 CLIMAS PRESENTES EN CHILE

Se ha utilizado la Clasificación Climática de Köppen<sup>1</sup> para distinguir los distintos tipos de clima presentes en el país, la cual se resume en la Figura 3-1 y se describe en la Figura 3-2.

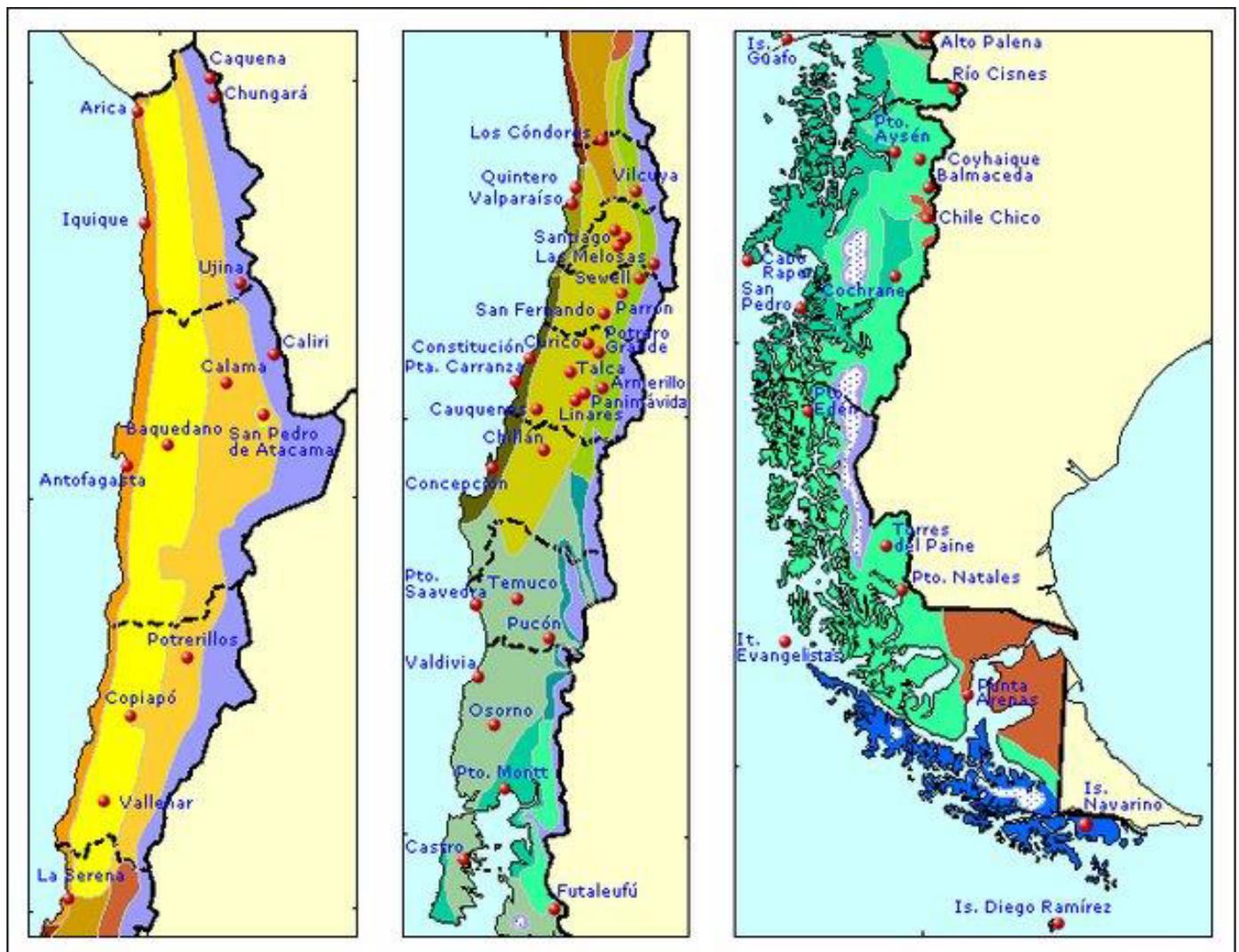


Figura 3-1: Tipos de Clima en Chile.

<sup>1</sup>Proyecto Innova-Corfo (2014), Guía para la utilización del método AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos en Chile, Clasificación Köppen para Chile (Riosco y Tesser, 2014).

<b>CÁLIDO</b>	TROPICAL	<b>Afa</b>	Tropical lluvioso
	<b>SECOS</b>	ÁRIDOS	<b>BWk</b>
<b>BWk'</b>			Árido muy frío
<b>BWn</b>			Árido con nublados abundantes
SEMIÁRIDOS		<b>BSks</b>	Semiárido templado con lluvias invernales
		<b>BSk's</b>	Semiárido muy frío con lluvias invernales
		<b>BSn</b>	Semiárido con nublados abundantes
<b>TEMPLADOS</b>	LLUVIAS EN INVIERNO	<b>Csb</b>	Templado cálido con lluvias invernales
		<b>Csb n</b>	Templado cálido con lluvias invernales y gran nubosidad
		<b>Csb n's</b>	Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica
		<b>Csc</b>	Templado frío con lluvias invernales
	LLUVIAS TODO EL AÑO	<b>Cfb</b>	Templado lluvioso cálido sin estación seca
		<b>Cfbs</b>	Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea
		<b>Cfc</b>	Templado lluvioso frío sin estación seca
		<b>Cfcs</b>	Templado lluvioso frío con influencia mediterránea
<b>FRÍOS</b>	TUNDRA	<b>ET</b>	Frío de tundra
		<b>ETi</b>	Frío de tundra isotérmico
		<b>ETH</b>	Frío de tundra por altura
	HIELO	<b>EF</b>	Frío de hielo polar
		<b>EFH</b>	Frío de hielo por altura

Figura 3-2: Descripción de Climas en Chile

Dado el notorio efecto que genera tanto la latitud geográfica como las diferencias climáticas entre la costa y la alta cordillera, se generó la Figura 3-3 que muestra en forma aproximada la localización de cada uno de los climas a lo largo de Chile. Se revisaron los mapas del Manual de Reglamentación Térmica<sup>2</sup>, para incluir el efecto de la altura en el clima, considerando niveles similares de altitud para la zonificación. A continuación, se han incorporado algunas localidades más conocidas para cada zona según la Figura 3-4.

<sup>2</sup> Instituto de la Construcción (2006), Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica.

Mapa	Clima	Costa	Valle Intermedio	Altura Media	Gran Altura	
	SECO - ÁRIDO	Nublado Abundante	Desertico	Muy Frio h > 2000m	Tundra de Altura h > 4000m	
				Muy Frio h > 2000m	Tundra de Altura h > 3000m	
	SECO - SEMIÁRIDO	Nublado Abundante	Templado Con Lluvias Invernales	Muy Frio con lluvias invernales h > 2000m	Tundra de Altura h > 3000m	
				Templado frío con lluvias invernales h > 1000m	Tundra de Altura h > 2000m	
	TEMPLADO CON LLUVIAS EN INVIERNO	Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad	templado cálido con lluvias invernales	Templado frío con lluvias invernales h > 400m	Tundra de Altura h > 1000m	
				Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea	Templado lluvioso cálido	Templado lluvioso frío
	TEMPLADO CON LLUVIAS TODO EL AÑO	Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea	Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea	Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea	Templado lluvioso frío	Tundra de Altura h > 400m
				Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea	Templado lluvioso frío	Tundra de Altura h > 400m
				Templado lluvioso frío	Templado lluvioso frío	Tundra de Altura h > 400m
				Templado lluvioso frío	Templado lluvioso frío	Tundra de Altura h > 400m
FRÍO	Frio de tundra	Frio de tundra	Frio de Hielo Polar			

Figura 3-3: Clasificación de climas en el país

Mapa	Clima	Costa	Valle Intermedio	Altura Media	Gran Altura	
	SECO - ÁRIDO	Arica Iquique Antofagasta Taltal Chañaral Caldera Huasco	Pozo Almonte Baquedano Copiapó Vallenar	Putre Calama Chuquibambilla San Pedro Escondida	Colchane Collahuasi Ollagüe Observatorios	
				El Salvador Potrerillos	Cerro Pedernales	
	SECO - SEMIÁRIDO	La Serena Coquimbo Los Vilos	Ovalle Combarbalá Illapel Salamanca	Los Pelambres	Maricunga	
				Valparaíso San Antonio Constitución Concepción	Los Andes Santiago Talca Linares	Codegua Termas del Flaco
	TEMPLADO CON LLUVIAS EN INVIERNO	Valparaíso San Antonio Constitución Concepción	Chillán Los Ángeles	Alto Bío-Bío	Antuco	
				Puerto Saavedra Valdivia	Temuco Loncoche La Unión Osorno	Villarrica Pucón
	TEMPLADO CON LLUVIAS TODO EL AÑO	Chiloé Melinka	Puerto Montt Calbuco Cochamó	Hornopirén Chaitén Puyuhuapi	Futaleufú Palena	
				Aysén	Coyhaique	Balmaceda Chile Chico Cochrane
				Puerto Edén	Caleta Tortel	Villa O'Higgins Campos de Hielo
	FRÍO	Puerto Natales	Punta Arenas Porvenir	Tierra del Fuego San Sebastián		

Figura 3-4: Descripción de principales localidades según los climas del país

### 3.2 CONDICIONANTES PARA LA OCURRENCIA DE LA CONGELACIÓN

#### 3.2.1 Temperaturas mínimas diarias

En un trabajo de Tesis<sup>3</sup> se han recopilado los datos diarios de temperaturas mínimas ocurridos durante los años 2014 al 2018 en distintas localidades del país. Para ello se consideró la Base de Datos de la Dirección Meteorológica de Chile (www.meteochile.cl). Las estaciones consideradas fueron las indicadas en la Figura 3-5:

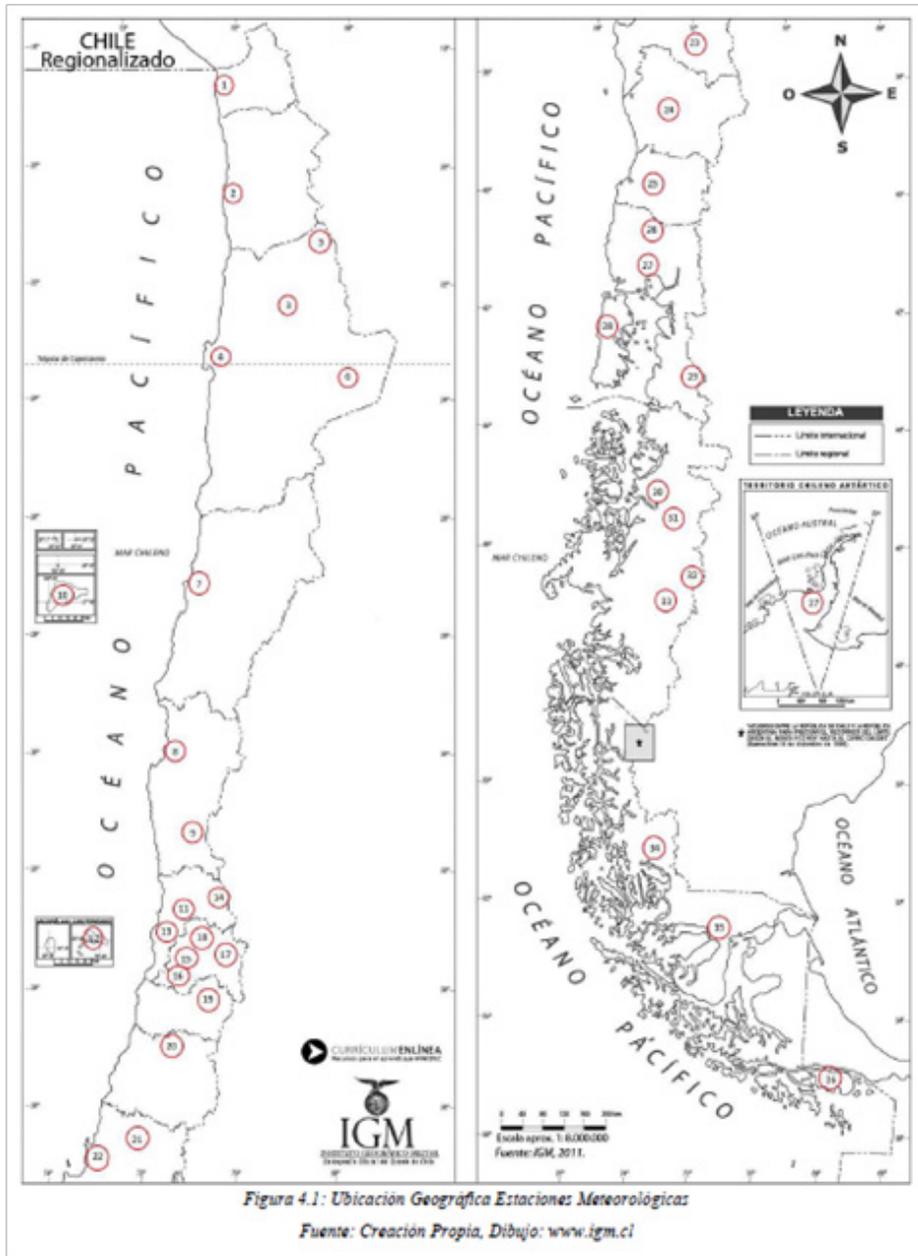


Figura 3-5: Estaciones meteorológicas consideradas en Ref /3/

<sup>3</sup> Peyresblanques, I. (2019), Propuesta de zonificación nacional de los grados de exposición de ciclos de hielo-deshielo expuestos en la NCh 170-2016, Facultad de Ingeniería UNAB.

### 3.2.2 Ocurrencia de Ciclos de Congelación/Deshielo

En esta misma Tesis se consideraron estudios que indican, que para que el agua en un poro del hormigón se congele, debe haber una temperatura menor a  $-2^{\circ}\text{C}$ . Siendo más preciso, durante ese mismo día debe haber un aumento de temperatura que sobrepase los  $0^{\circ}\text{C}$ , de modo que esta agua se descongele y ocurra el ciclo de hielo/deshielo que genera el deterioro de la matriz de cemento.

Esto coincide con otros estudios<sup>4</sup> que indican que, por efecto de la sal presente en el agua de mar, o por la presencia de sales descongelantes, el punto de congelación del agua se reduce a valores menores a  $-2^{\circ}\text{C}$ . 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 menores a  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Para aquellas zonas sin información se utilizó la base de datos de la web Meteoblue (<https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodellado/>), la cual cuenta con datos históricos promedio de 30 años, los cuales son presentados en forma gráfica como lo muestra la Figura 3-6.

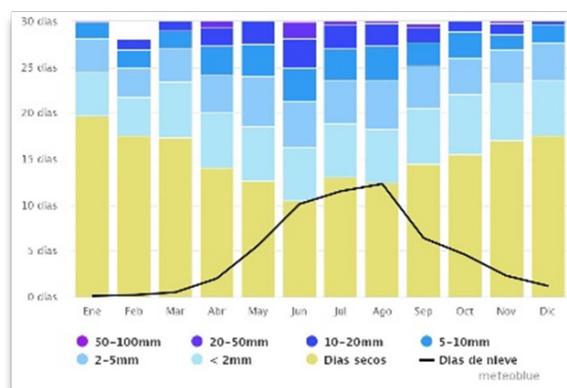
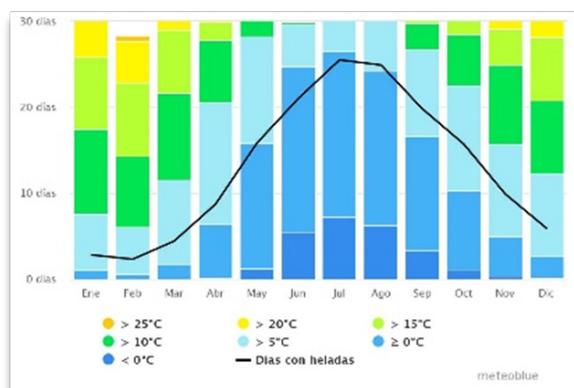
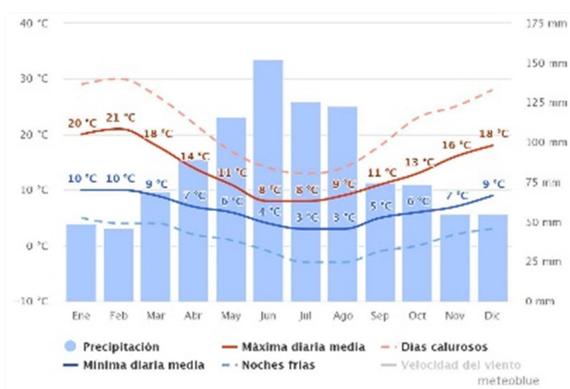


Figura 3-6: Información climatológica entregada por sistema Meteoblue

<sup>4</sup> Ebensperger, L. (2019), Diagnóstico de Pavimentos Urbanos sujeto a Condiciones de Congelación y Deshielo durante su Vida Útil, Estudio Privado.

La Tabla con la cantidad de ciclos promedio anual por localidad se muestran en la Figura 3-7. Los casos tomados desde el sistema Meteoblue se han marcado con (\*), dado que el sistema sólo indica la temperatura de 0°C para iniciar la congelación. El promedio en el territorio Antártico es de 17 ciclos/año.

Mapa	Clima	Costa	Valle Intermedio	Altura Media	Gran Altura		
	SECO - ÁRIDO	0	0	28	251		
				193*	192*		
	SECO - SEMIÁRIDO	0	0	14*	273*		
	TEMPLADO CON LLUVIAS EN INVIERNO	0	3	14	83		
				11	34*	98*	
	TEMPLADO CON LLUVIAS TODO EL AÑO	7	12	18*	120*		
				3	5	24	134*
				7	31	47	
				40	83	166	
	FRÍO	72	30	80			

Figura 3-7: Promedio anual de ciclos Congelación/Deshielo

### 3.2.3 Cantidad acumulada de Ciclos

El deterioro que produce el proceso de congelación y posterior deshielo es acumulativo, motivo por el cual es necesario definir una Vida Útil para la cual el hormigón resista este efecto adverso. Se han considerado dos situaciones:

- 25 años para pavimentos
- 50 años para otras estructuras de hormigón

Se ha determinado mediante ensayos utilizando el Método ASTM C666<sup>5</sup> el nivel de deterioro que alcanza un hormigón. Esta normativa define un nivel máximo de deterioro cuando el Factor de Durabilidad alcanza un 60% del valor inicial, al comparar la variación del Módulo de Elasticidad Dinámico entre la condición inicial y la existente después de una serie de ciclos. La Figura 3-8 muestra resultados ejecutados con este ensayo<sup>6</sup>.

En estudios recientes<sup>7</sup> ejecutados en España con hormigones sin y con aire incorporado confeccionados con Cemento OPC tipo I, se estudió el comportamiento hasta una cantidad de 300 ciclos de hielo/deshielo, tal como establece la ASTM C666 (ver Figura 3-9). Las razones a/c respectivas fueron de 0,50 y 0,40 respectivamente. Las mezclas sin incorporador de aire mostraron en promedio un 3,7% de contenido de aire, y las con incorporador un 8,5%.

La mezcla denominada H30/00 (corresponde a un G30 en Chile) sin aire y con razón a/c=0,50 alcanzó justamente después de 250 ciclos el nivel de deterioro máximo, mientras que la mezcla H45 (G45) sin aire y con razón a/c=0,40 junto a las otras con aire, casi no mostraron deterioro.

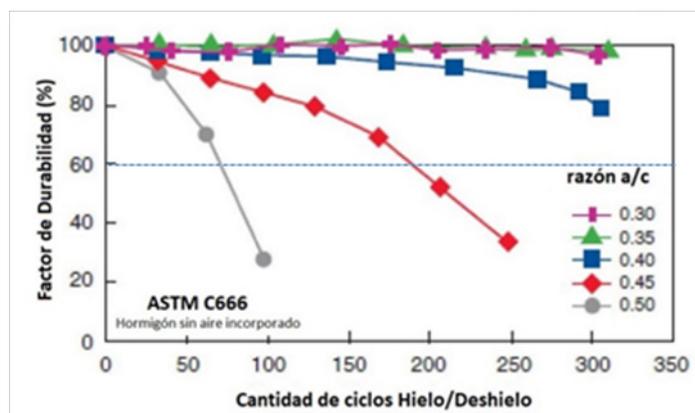


Figura 3-8: Deterioro de un hormigón al acumularse los ciclos de Hielo/Deshielo Ensayo 1.

<sup>5</sup> ASTM C666 (2015). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.

<sup>6</sup> Pinto and Hover (2001). Portland Cement Association.

<sup>7</sup> Al-Assadi, G., Casati, M., Fernández, J., Gálvez, J. (2009). Evaluación del Deterioro del Hormigón sometido a Ciclos Hielo-Deshielo. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

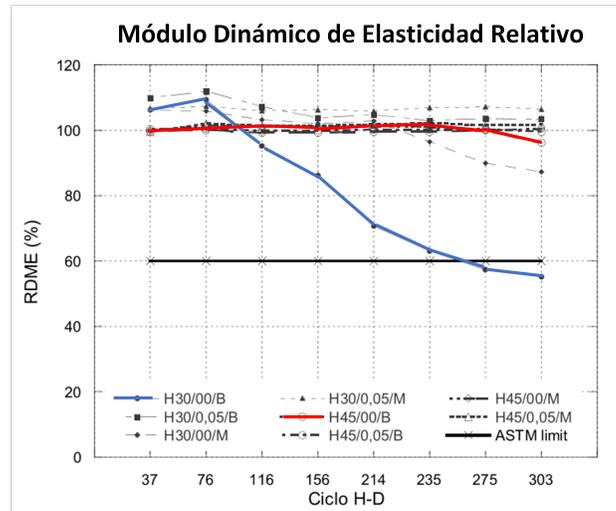


Figura 3-9: Deterioro de un hormigón al acumularse los ciclos de Hielo/Deshielo Ensayo 2.

Teniendo en consideración que los cementos puzolánicos muestran un mejor comportamiento por durabilidad que cementos OPC, se considera aumentar el límite de ocurrencia de deterioro desde 250 a 300 ciclos totales (+20%).

Al considerar el límite de 300 ciclos como valor máximo de deterioro a alcanzar en un hormigón, se tiene que la cantidad total de ciclos aceptable para un hormigón G30 en condiciones de saturación y sin aire incorporado dependería del tipo de estructura, dada la Vida Útil asignada a cada tipo de estructura analizada, dada la Vida Útil asignada a cada tipo de estructura analizada: 25 y 50 años para pavimentos y otras estructuras de hormigón, respectivamente

### 3.2.4 Grado de Saturación del Hormigón

De crucial importancia para el efecto del hielo/deshielo sobre un hormigón en su grado de saturación, que se define de la siguiente manera:

$$S = \frac{V_W}{V_P}$$

Dónde:

- $V_w$ = Volumen de agua evaporable
- $V_p$ = volumen de poros capilares abiertos y conectados

Un Grado de Saturación = 1,0 significa que el Volumen de Poros está completamente lleno de agua, en condición saturada. El Volumen de Poros comprende los poros capilares de la pasta de cemento (0,1  $\mu$ m), eventuales poros incorporados, los poros del proceso de compactación, y los poros de los agregados (ver Figura 3-10).

Se considera que existe un Punto Crítico de Saturación de agua  $S_{crit}$ , sobre el cual un hormigón se daña, debido a las presiones internas, luego de sólo algunos ciclos de congelación/deshielo. Algunos autores mencionan este punto crítico en 91,7%.

Este Grado de Saturación crítico depende del volumen de poros y de la distribución del tamaño de poros, y es por lo tanto específico al tipo de hormigón.

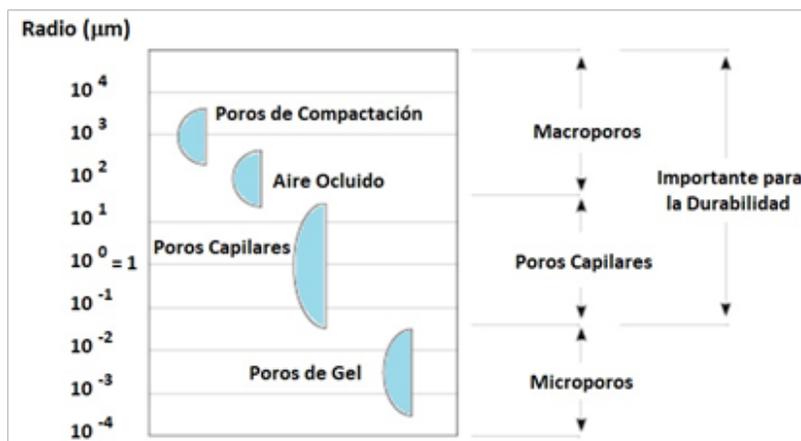


Figura 3-10: Tipos y tamaños de poros en un hormigón

Si el Grado de Saturación de un hormigón está por debajo del nivel crítico de saturación, no sufrirá daños significativos por ciclos repetidos de congelación/deshielo. Por lo tanto, en la práctica y en ensayos, el deterioro solamente puede ocurrir si se supera el Grado de Saturación crítico del hormigón (Figura 3-11). Esto requiere que suficiente agua esté disponible desde el exterior y ocurra la absorción capilar de ésta.

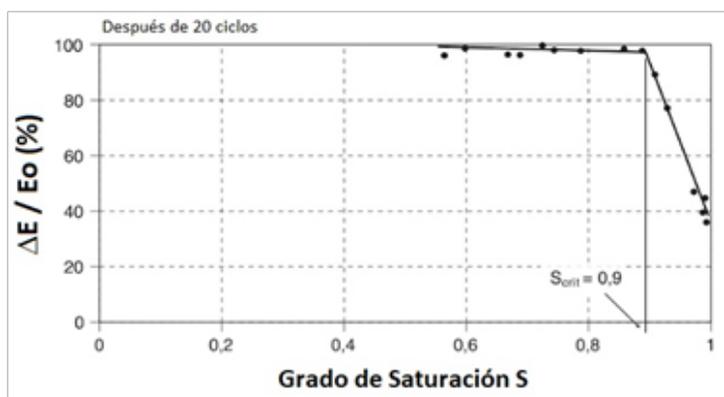


Figura 3-11: Deterioro de un hormigón en función del Grado de Saturación

En esta propuesta se han considerado los siguientes límites de precipitación promedio mensual (P) para definir el nivel probable de saturación del hormigón, válido para superficies horizontales donde la continuidad de la humedad queda asegurada al mantenerse la lluvia y/o nieve mayor tiempo, lo que ocurre en menor medida en superficies verticales:

- Saturación Nula (SN):  $P < 10\text{mm}$
- Saturación Baja (SB):  $10\text{mm} < P < 50\text{mm}$
- Saturación Alta (SA):  $P > 50\text{mm}$

Existe poca información sobre el nivel de nieve caída a lo largo del país, pero se supone que en sectores donde esto ocurra, la posibilidad de saturación será alta (SA). En estas condiciones, al tratarse de sectores urbanos, se supondrá el uso de sales descongelantes, lo cual significa un probable aumento del deterioro del hormigón por efecto de los ciclos de congelación/deshielo al potenciarse el congelamiento por capas. Lo anterior queda reflejado en la Figura 3-12

Clima		Posibilidad Alcanzar Saturación				
Mapa	Clima	Costa	Valle Intermedio	Altura Media	Gran Altura	
	SECO - ÁRIDO	Nula $P < 10\text{mm}$	Nula $P < 10\text{mm}$	Baja $10 < P < 50\text{mm}$	t	
	SECO - SEMIÁRIDO	Nula $P < 10\text{mm}$	Nula $P < 10\text{mm}$	Baja $10 < P < 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	
	TEMPLADO CON LLUVIAS EN INVIERNO	Alta $P > 50\text{mm}$	Baja $10 < P < 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	
			Baja $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	
	TEMPLADO CON LLUVIAS TODO EL AÑO	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}^*$	Alta $P > 50\text{mm}$
			Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$
			Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	
			Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	
	FRÍO	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$	Alta $P > 50\text{mm}$		

Figura 3-12: Posibilidad de alcanzar la Saturación en superficies horizontales.

El aumento del volumen de la solución de poros en proceso de congelación junto a la imposibilidad de la reducción de la presión en los poros adyacentes (capas ya congeladas), conduce a tensiones macroscópicas internas y a la rotura de las capas superiores del hormigón. Entonces ocurre el descascaramiento con pérdida de masa superficial del hormigón.

La condición de las estructuras de hormigón verticales difiere del caso de las estructuras horizontales, como pavimentos, debido a que la humedad en el ambiente y las precipitaciones, no se mantiene y escurre, con lo cual la condición de saturación se ve afectada y disminuye considerablemente. Su efecto se analiza en el punto 3.3.4.

### 3.2.5 Simultaneidad de condiciones

En resumen, para la ocurrencia del deterioro por ciclos de congelación/deshielo en superficies horizontales, deben ocurrir en forma simultánea las siguientes condiciones:

- Temperaturas mínimas inferiores a  $-2^{\circ}\text{C}$
- Cantidad de Ciclos/año  $C > 12$  (300 ciclos / 25 años Vida Útil)
- Nivel de Saturación Bajo (**SB**) o Alto (**SA**)
- Presencia de Nieve (**N**) por uso probable de sales.

Para la comprobación de esta situación es necesario considerar los valores mensuales de ocurrencia de esta simultaneidad en cada localidad en análisis, dado que a lo largo del año puede ocurrir que los meses de heladas no coincidan necesariamente con los meses de precipitaciones, como es el caso de la ciudad de Calama, o algunos meses se clasifiquen en categoría F2 y otros en F1, prevaleciendo en este caso la condición más desfavorable para esa localidad.

### 3.3 FLUJO DE VERIFICACIÓN

Se describe a continuación el Flujo de Verificación que debe realizarse para comprobar el Grado de Exposición a aplicar en cada zona geográfica, junto a un esquema en la Figura 3-13. El resultado varía en el año, y prevalecerá el mayor Grado de Exposición que ocurra en el período.

#### 3.3.1 Temperaturas mínimas

La verificación de la ocurrencia de ciclos de Congelación/Deshielo comienza con el análisis de la cantidad promedio anual de éstos que cumplan con la condición de temperaturas  $< -2^{\circ}\text{C}$ . Si no hay temperaturas mínimas inferiores se considera en forma inmediata la condición del Grado F0, lo cual implica que el hormigón no requiere incorporador de aire como medida de mitigación.

#### 3.3.2 Cantidad de ciclos críticos

Para pavimentos horizontales se obtiene:

- VU Pavimentos = 25 años: promedio crítico de ciclos/año  $< 12$

Para otras estructuras se obtiene:

- VU Estructuras = 50 años: promedio crítico de ciclos /año  $< 6$

Debido a que la Vida Útil para estructuras de hormigón se ha considerado en 50 años, la cantidad de ciclos admisibles para que no ocurra deterioro sin el uso de incorporador de aire se reduce de 12 a 6 ciclos/año. La práctica muestra que la ocurrencia de daños en estructuras de hormigón, en especial verticales y exteriores es reducida, como es el caso en ciudades del Valle Central, desde Chillán a Osorno, que con un promedio de 12 ciclos/año no han mostrado deterioros por esta causa. Además, como ya se mencionó, la humedad no se mantiene sobre la superficie, como es el caso de los pavimentos, por lo tanto, la posibilidad de ocurrencia de un grado de saturación  $> 90\%$  disminuye considerablemente.

Debido al efecto ya indicado, y a modo de contrarrestar en el análisis este efecto, se ha considerado en esta propuesta aumentar el límite de ciclos admisibles para estructuras al mismo valor que para pavimentos, determinándose un límite único promedio de 12 ciclos/año para considerar la necesidad de incorporar aire a la mezcla de hormigón.

#### 3.3.3 Análisis de Simultaneidad

Si se determina que es necesario incorporar aire a la mezcla de hormigón, el flujo continúa con el análisis desde la condición más agresiva hasta la condición más benigna. Tras identificar si en la zona en estudio hay presencia de nieve (se considera que la nieve mantiene al hormigón en condiciones saturadas), el primer punto se centra en identificar si habrá presencia de sales descongelantes o similares: en el caso de pavimento y otras estructuras viales sometidas a la acción de sales descongelantes, sin dudas éstas son utilizadas, por lo cual corresponde Grado de Exposición F3.

Si no hay presencia de nieve, o hay nieve, pero sin uso de sales, se requiere analizar la posibilidad de que el hormigón se encuentre saturado o no. Si el Grado de Saturación esperado es ALTO ( $> 50\text{mm}$  de precipitaciones o condición de nieve) corresponde el Grado de Exposición F2, si es BAJO ( $> 10\text{mm}$ ) corresponde a Grado de Exposición F1. En este caso, a pesar de estar comprobado que están sometidas a los ciclos de congelación/deshielo, el Grado F0 podría llegar a ser aplicable, por ejemplo, cuando las condiciones de humedad y ocurrencia de ciclos ocurren en períodos de tiempo distintos, como es el caso de ciudades del norte de Chile, como Calama.

#### 3.3.4 Ejemplos de Aplicación

La selección de Grado de Exposición en caso de sobrepasarse esta cantidad de ciclos dependerá si la estructura es interior o exterior, y si pudiera verse salpicada o contaminada por sales descongelantes.

Distinta es la situación cuando esa misma estructura corresponde a un hormigón ubicado al interior, o que ha sido protegido de la acción climática, ya sea por el uso de membranas o aislantes que impidan el congelamiento del hormigón y disminuyan la saturación del hormigón. En estos casos se deberá realizar un análisis específico por un especialista. La Tabla 3-1 muestra algunos ejemplos del uso de Flujo de Verificación de la Figura 3-13.

Tabla 3-1: Ejemplos de asignación de Grado de Exposición

Localidad (ciclos/año)	Período	Elemento	Ciclos/año	Nieve	Saturación	Grado EXP.
Calama (28 ciclos)	Invierno	Pavimento	>12	No	NULA	F0
	Verano	Pavimento	0	No	ALTA	F0
Temuco (12 ciclos) Osorno	Invierno	Pavimento	= 12	No	ALTA	F0
		Estructura Exterior	< 12	No	MEDIA/BAJA/ NULA	F0
		Estructura Interior	0	No	NULA	F0
Valdivia (7 ciclos) Aysén	Invierno	Pavimento	< 12	No	ALTA	F0
		Estructura Exterior	< 12	No	ALTA	F2
		Estructura Interior	0	No	NULA	F0
Puerto Montt (5 ciclos)	Invierno	Pavimento	< 12	No	ALTA	F0
		Estructura Exterior	< 12	No	ALTA	F0
		Estructura Interior	0	No	NULA	F0
Punta Arenas (30 ciclos)	Invierno	Pavimento	>12	Si, con Sales	ALTA	F3
		Estructura Exterior	>12	Si, con Sales	MEDIA/BAJA	F2/F1
		Estructura Interior	0	No	BAJA	F1
Alta Cordillera (> 83 ciclos)	Invierno	Pavimento	>12	Si, con Sales	ALTA	F3
		Estructura Exterior	>12	Si, con Sales	MEDIA/BAJA	F2/F1
		Estructura Interior	0	No	NULA	F0

Nota: la cantidad de ciclos corresponde al promedio de ciclos anuales entre los años 2014 y 2018.

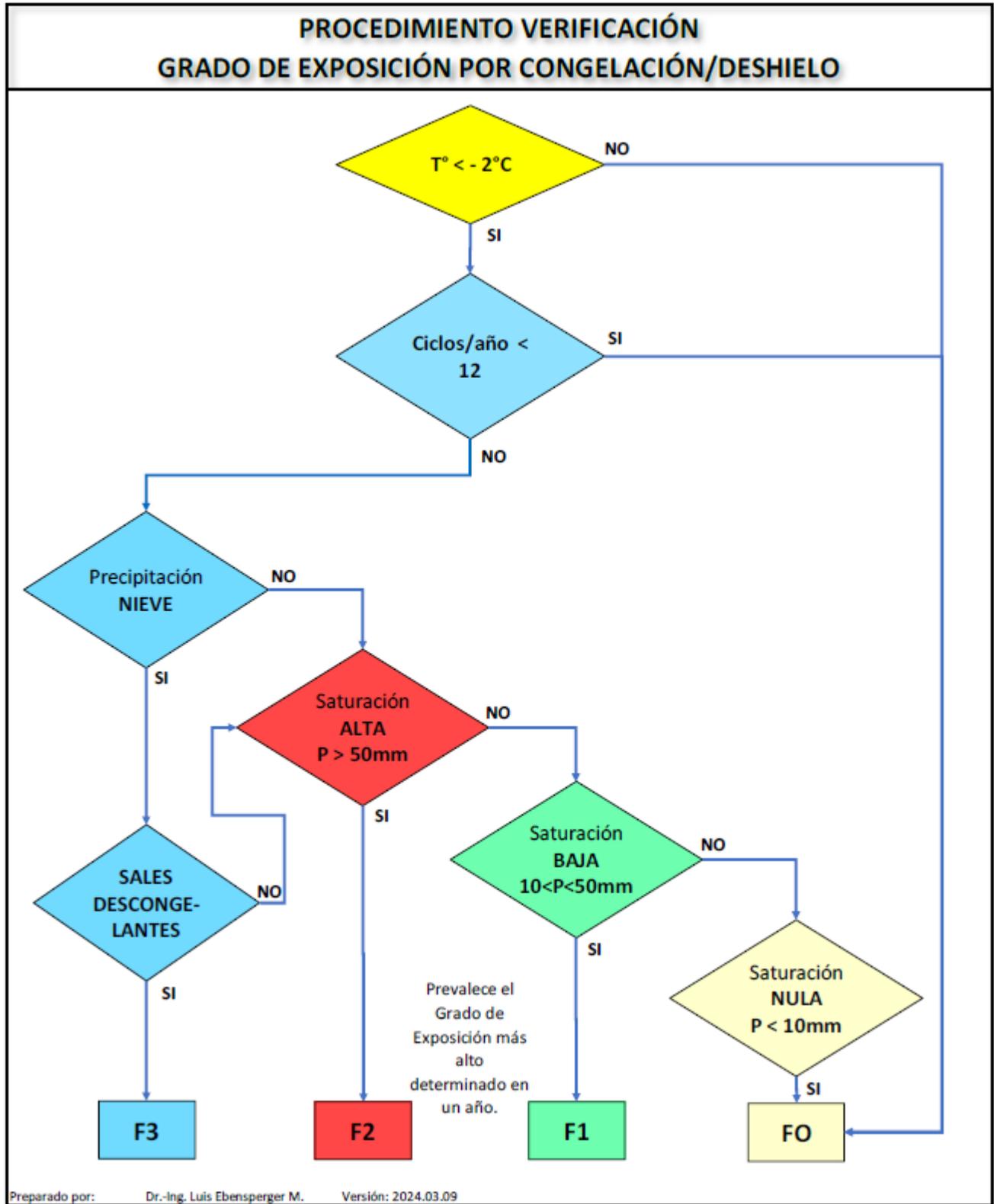


Figura 3-13: Flujo de Verificación de Grado de Exposición.

## 4. ZONAS GEOGRÁFICAS SEGÚN CANTIDAD DE CICLOS

Tabla 4-1: Resumen de Zonas geográficas para todo el país.

Descripción Zona (localidades representativas para cada zona)	Costa	Valle Intermedio	Pre-cordillera	Cordillera
“Zona I Norte Arica/Los Vilos – Copiapó - Calama - Ollagüe “	0	0	30	250
“Zona II Centro Norte Valparaíso/Concepción – Chillán – Termas del Flaco – Alto Bío-Bío “	0	12	15	80
“Zona III Centro Sur Lebu/Valdivia – Temuco/Osorno - Pucón – Lonquimay “	6	12	25	100
“Zona IV Sur Chiloé - Puerto Montt – Chaitén/ Puyuhuapi -Palena/Futaleufú “	5	6	20	130
“Zona V Sur Austral Aysén – Coyhaique – Balmaceda - Villa O’Higgins “	7	30	50	160
“Zona VI Austral Puerto Natales - Punta Arenas/ Porvenir - San Sebastián “	70	30		80

Dr.-Ing. Luis Ebersperger M. - 2024.03.19

Por condiciones de ciclos/año  $\leq 12$  se considera FO.

Por condiciones de ciclos/año  $> 12$  se debe determinar Grado de Exposición de acuerdo al Flujo, simultaneidad de efectos y tipo de estructura: pavimento, estructura exterior o interior.

Nota: si no se cuenta con información de alguna zona se requiere un Estudio que confirme estadísticamente el promedio de ciclos esperados para la localidad analizada. El estudio completo debe contener la revisión de antecedentes que permitan identificar la simultaneidad en la disponibilidad de humedad, la presencia de nieve y el uso de sales descongelantes.

## 5. CONCLUSIONES

Se presenta propuesta de Zonificación para la exposición ambiental asociada a la ocurrencia de ciclos de congelación/deshielo.

Esta propuesta ha considerado los siguientes parámetros, que deben ocurrir en forma simultánea, los cuáles podrían tomar otros valores, si se considerara apropiado de acuerdo a antecedentes técnicos:

- a. Mínima temperatura que da inicio al proceso de congelación del agua: **Tmin** < -2°C.
- b. Temperatura máxima mayor a **Tmax** > 0°C durante el mismo día, que asegure que ocurrió el deshielo y con ello un ciclo de congelación y deshielo.
- c. La cantidad de ciclos anuales de congelación/deshielos necesarios, a partir del cual se considera la existencia de un deterioro acumulativo del hormigón (total de 300 ciclos), con lo cual: Para Pavimentos y Estructuras si  $C > 12$  ciclos/año, lo cual lleva implícito 25 y 50 años de Vida Útil (VU), respectivamente.
- d. Precipitación mensual asociada a la obtención del Grado de Saturación Crítico del hormigón mayor a un 90% requerido para la ocurrencia de la expansión del agua al interior de los poros, el cual genera el deterioro de la matriz de cemento:

- |                             |    |                               |
|-----------------------------|----|-------------------------------|
| • Saturación Nula <b>SN</b> | si | <b>P</b> < 10mm/mes           |
| • Saturación Baja <b>SB</b> | si | 10mm/mes < <b>P</b> < 50mm/me |
| • Saturación Alta <b>SA</b> | si | <b>P</b> > 50mm/mes           |

e. En forma adicional la presencia de nieve, la cual genera, por un lado, la condición de saturación del hormigón, y por otro, el uso de sales descongelantes en estructuras viales, como pavimentos, aceras, puentes y obras anexas sujetas a la acción de la salpicadura de sales, etc.

- Por tratarse de un análisis anual, prevalecerá la peor condición mensual para asignar el Grado de Exposición.
- Se presenta Diagrama de Flujo que permite para cada localidad con la que se cuente con datos procesados, determinar el Grado de Exposición.

En caso de determinarse los Grados de Exposición **F1, F2 o F3** se considera como medida de mitigación interna el uso de aditivo incorporador de aire de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1-1.

Otras medidas de mitigación internas, distintas a la incorporación de aire, como adiciones a la mezcla, o medidas de mitigación externas como la aplicación de membranas, sellantes, impermeabilizantes, impregnantes, entre otras, que tiendan a la disminución de permeabilidad y/o que dificulten el ingreso de humedad, u otras situaciones específicas de algún proyecto, deberán ser determinadas por un experto en durabilidad

