

*Commentary on Chilean
Snow Load Guidelines and
Rules for Structural and
Building Design*

Alcances de la Normativa en Chile para la Determinación de la Sobrecarga de Nieve en Edificios y Estructuras



Autores

JOSÉ PEDRO MERY

Constructor Civil
Académico Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
email: jpmery@uc.cl

DR. ING. BENJAMÍN NAVARRETE

Constructor Civil
Académico Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
email: bnava@uc.cl

Fecha de recepción 22/08/07

Fecha de aceptación 12/09/07

Resumen

En el presente artículo se exponen y comentan los principales contenidos de la normativa chilena que regula y recomienda los cálculos de sobrecargas de nieve, con el fin de presentar una discusión sobre el grado de actualización de dicha normativa. En el desarrollo del texto se hace referencia a algunos criterios internacionales so-

bre la materia, y que se espera podrían constituir el punto de partida para la discusión de una futura actualización de la normativa chilena. Finalmente se menciona también la necesidad de incorporar en una futura norma algunos criterios sobre recomendaciones constructivas para evitar patologías y problemas frecuentes.

Palabras clave: sobrecarga de nieve, nieve, diseño estructural.

Abstract

This paper presents an overview about the main contents of the Chilean rules and guidelines to determine snow loads on buildings and structures with the purpose to establish a discussion aimed to update these criteria. Within the text some international criteria are

considered to have an idea about what elements should be considered to go on with this update. Finally there is also mentioned the need to take into account some technical advices to avoid frequent damage on structures due to snow and snow loading phenomenon.

Key words: snow load, snow, structural design.

1. Introducción

Pese a ser Chile un país de montañas, con vastas zonas expuestas a precipitación nival y con las consecuentes sobrecargas en las estructuras de las edificaciones, la normativa nacional que regula y recomienda la metodología de cálculos de las cargas adicionales producto de la nieve resulta estar muy poco desarrollada y actualizada.

Desde el punto de vista legal, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (en adelante OGUC) solo establece un valor fijo para la densidad de la nieve y otro para la sobrecarga de nieve cuando la pendiente es menor a 1/20, sin mencionar mayores alcances. Por otro lado la norma chilena NCh 431.Of 77, si bien presenta una recomendación más extensa para las sobrecargas de nieve, respecto de dicha Ordenanza, solo lo hace principalmente en función de la inclinación de los techos y la ubicación geográfica de la edificación, no añadiendo mucha más información para abordar una estimación detallada del efecto de la nieve sobre las edificaciones.

2. Objetivos

El presente artículo tiene por objetivo presentar una discusión base sobre los alcances de la normativa chilena en lo que dice relación con la sobrecarga

de nieve aplicada al diseño de edificios, para luego establecer consideraciones generales que deberían ser tomadas en cuenta para una futura actualización de la norma nacional de sobrecarga de nieve, teniendo presente el estado del arte internacional en la materia.

3. Principales alcances de la normativa en Chile para la determinación de las sobrecargas de nieve

Los principales alcances de la normativa dicen relación con dos aspectos fundamentales: (a) la recopilación de estadísticas de nieve, el análisis de datos y la estimación de espesores y características de la misma, y (b) la configuración estructural de los edificios y los cálculos de estabilidad frente a la acción de las sobrecargas de nieve.

3.1. Estimación de nieve

La norma NCh 431.Of 77 estima la cantidad de nieve sobre una estructura directamente en términos de la *sobrecarga básica mínima de nieve*, n_o (kN/m²), en función de la ubicación geográfica; *altitud* y *latitud*, excluyendo el territorio antártico. Los valores de n_o son propuestos en una tabla, donde varían entre 0 y 7,0 kN/m² para latitudes geográficas entre 17° y 55° sur, y altitudes desde 0 a más de 3.000 m (en el Gráfico 7 se representa parte de esta tabla). Si bien la norma establece que dicho parámetro se determina por medición directa del espesor de nieve caída sobre una superficie horizontal y por el peso específico de ella con aplicación de métodos esta-

dísticos, no establece la metodología para la medir dichos espesores y densidades, sino que traspasa al proyectista la verificación de la sobrecarga básica: *“el proyectista estructural deberá verificar las condiciones reales de nieve caída en el lugar donde se ubicará la estructura, en base a estadísticas u otras informaciones fidedignas correspondientes a un período de retorno no menor a 10 años”*. Al respecto, es posible afirmar que la norma propone una tabulación bastante simplista para la estimación de la nieve por cuanto, en primer lugar, no entrega una herramienta metodológica al proyectista para abordar las mediciones nivológicas, ni cuál debería ser el tratamiento estadístico de las observaciones. En segundo lugar, propone un período de retorno base no inferior a 10 años, en consecuencia que de acuerdo al estado del arte internacional para esta frecuencia se adoptan valores de 50 a 100 años. Incluso es posible establecer períodos de retorno diferidos según sea la importancia de la estructura y la probabilidad o riesgo de falla que se aceptaría para ella (ecuación 1).

$$\text{Riesgo de falla} = 1 - \left[1 - \frac{1}{T} \right]^n \quad (1)$$

T período de retorno
 n vida útil de la estructura

La norma tampoco expresa si la sobrecarga básica de nieve es medida en el suelo o en la superficie de la edificación (usualmente la techumbre). De igual modo, no establece si se trata de una sobrecarga correspondiente a un estrato de nieve acumulado después de un temporal, a la máxima precipitación observada en un mes, o a la máxima acumulación anual. Al observar valores de precipitación máximos mensuales y anuales para ciertos lugares de cordillera central del país (Gráficos 1 al 6), parece ser que la norma considera las precipitaciones máximas mensuales. No obstante, mantiene la densidad constante y tampoco incorpora la recurrencia de los espesores. Las acumulaciones de nieve y la evolución mecánica de la cristalografía son distintas en todos los casos. Las edificaciones tienen una serie de características que influyen directamente en la evolución de la nieve depositada en ella (espesor, densidad, derretimiento, etc.). Debido a la altura de la techumbre, esta deposición está normalmente influenciada por el viento, que junto a la geometría de aquella, crea condiciones diferenciales de acumulación (poca nieve en las cumbres y mucha en las zonas bajas, concavidades y sectores a sotavento). La evolución de la nieve sobre la cubierta también queda determinada por la temperatura ambiente, la conductividad térmica de los materiales que la componen, la temperatura interior de la edificación, la aislación y ventilación de la techumbre, etc. Por lo tanto la acumulación de nieve en el suelo y su evolución durante la temporada invernal es muy diferente al ciclo de vida de aquella depositada en las edificaciones. En el estado del arte actual, la estimación de la sobrecarga de nieve sobre las estructuras se obtiene a partir de las observaciones de aquella depositada en el suelo.

En el Gráfico 7 se puede advertir que las recomendaciones de la norma propone un valor de 0,5 kN/m² de sobrecarga para elevaciones entre 600 y 800 m comprendidas entre las latitudes 32° y 34° sur, posición que equivale más o menos a una zona ubicada entre Pichidangui y Rancagua (Regiones V, RM y VI). Este valor de sobrecarga equivale a una acumulación de nieve igual a 40 cm de espesor (para una densidad de 125 kg/m³). Si se toma en cuenta la precipitación nival observada en Santiago en agosto de 2007 durante un evento de casi 24 hrs y período de retorno cercano a 25 (o 30) años, donde la acumulación de nieve en el suelo, sin viento, alcanzó un espesor cercano a 10 cm a una cota de 700 m, se podrá observar que los valores de la norma sobrepasan al valor observado en más de 4 veces (considerando también una densidad de 125 kg/m³ para la nieve fresca del evento mencionado). Esta diferencia puede constituir un excelente factor de seguridad, pero también ha de tenerse en cuenta la optimización de los recursos en cada diseño.

Contrariamente al ejemplo anterior, si se comparan las recomendaciones de la norma con las estadísticas de precipitación *máximas mensuales* para dos localidades de la cordillera central (regiones VI y Metropolitana), ubicadas entre los 2.000 y 3.500 m, respectivamente (Gráficos 4 y 6), se puede observar que la precipitación máxima observada puede superar el valor de la norma (comparada con el espesor indicado en el Gráfico 8). Esta comparación sin embargo es poco rigurosa, puesto que la densidad equivalente de todos los estratos implícitos en los Gráficos no es constante para un estrato de nieve fresca cuya evolución se ha desarrollado por 30 días.

GRÁFICO 1 Nieve total anual registrada en la IV Región sobre 4.000 m. Período 1981-2002

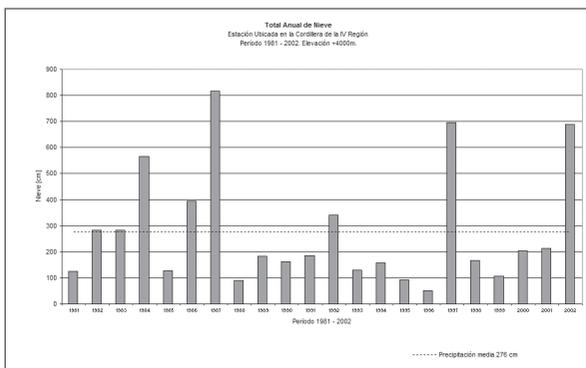


GRÁFICO 2 Máxima precipitación mensual de nieve, registrada en la IV Región sobre 4.000 m. Período 1981-2002

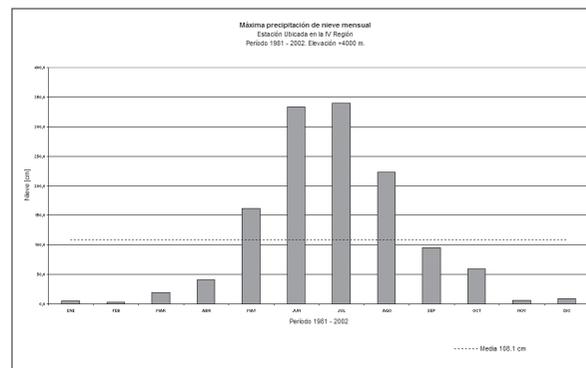


GRÁFICO 3 Nieve total anual registrada en la Región Metropolitana a 3.500 m. Período 1990-2005

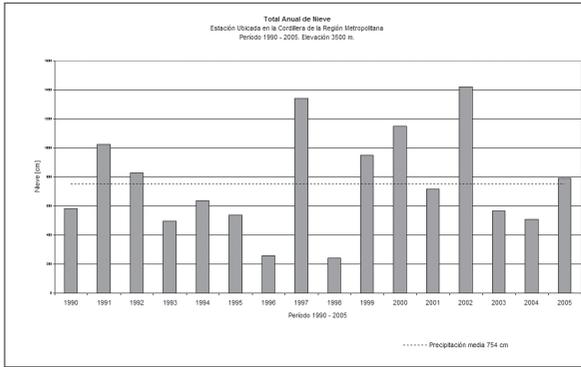


GRÁFICO 4 Máxima precipitación mensual de nieve, registrada en la Región Metropolitana a 3.500 m. Período 1990-2005

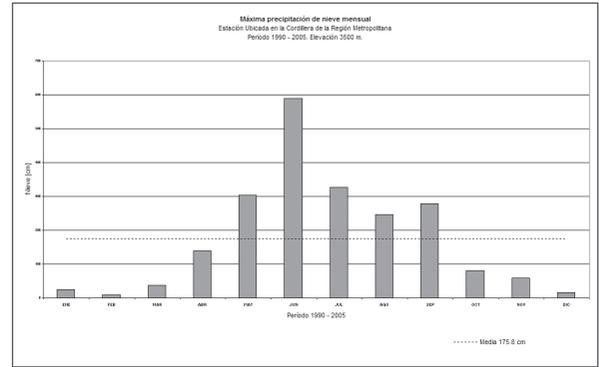


GRÁFICO 5 Nieve total anual registrada en VI Región a 2.150 m. Período 1991-2006

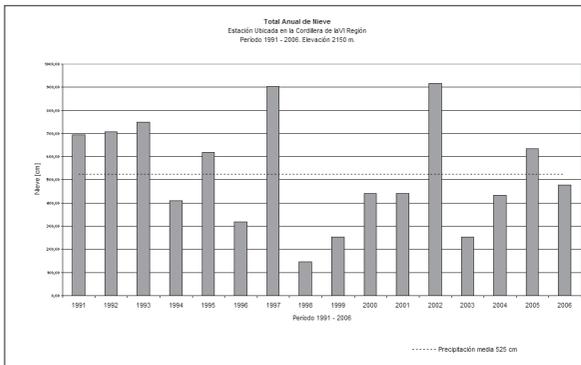


GRÁFICO 6 Máxima precipitación mensual de nieve, registrada en la VI Región a 2.150 m. Período 1991-2006

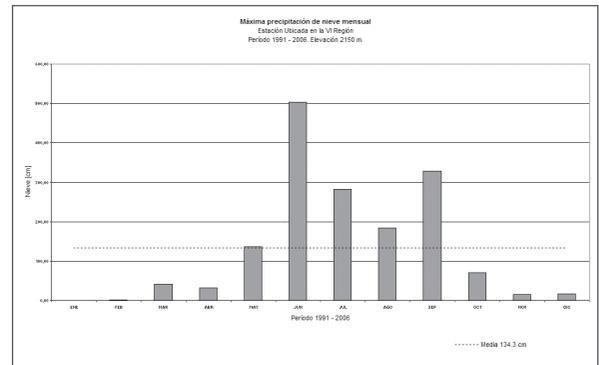


GRÁFICO 7 Sobrecarga de nieve, según NCh 431.Of77, para distintas altitudes y latitudes geográficas

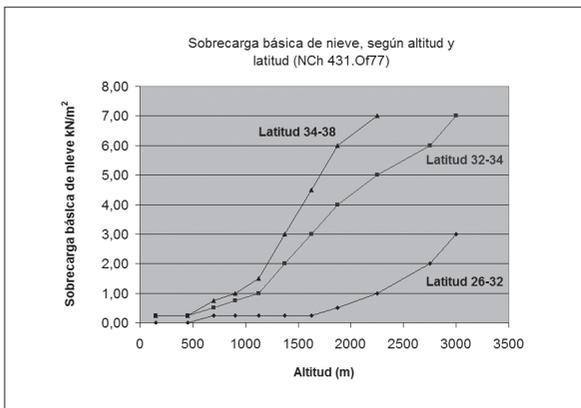
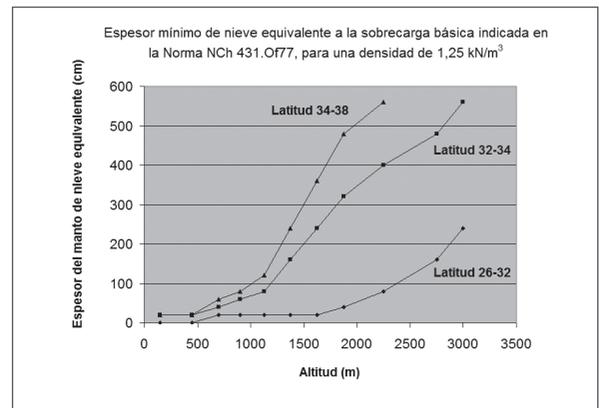


GRÁFICO 8 Sobrecarga de nieve del Gráfico 1, expresada en espesor del manto, para una densidad de 1,25 kN/m³



No obstante ello, el comentario arroja ciertas interrogantes en torno al especial énfasis que se debe poner en el método de estimación de la variable nieve, su ciclo de vida, la evolución de la densidad, y la forma de depositación sobre la edificación.

La nieve, como toda variable hidrometeorológica, es difícil de pronosticar y establecer su patrón de comportamiento con buena precisión. En otras palabras es difícil decir cuándo nevará, cuánto nevará, con qué frecuencia e intensidad nevará y qué características tendrá la nieve caída. La nieve no solo es difícil de pronosticar sino que además su complejo comportamiento mecánico producto del proceso interno de sinterización o metamorfosis de los cristales por efecto de la humedad, temperatura, carga de estratos superiores, radiación, viento, entre otros, añade una complejidad más para establecer cuál será la densidad de proyecto. La norma NCh 431.Of77 tampoco hace mención a otras variables condicionantes de la sobrecarga básica, como por ejemplo la cercanía al mar. Sin duda que la altitud y latitud son variables fundamentales, pero también debería tomarse en cuenta la influencia marítima por cuanto los contenidos de humedad pueden alterar la forma de los cristales de la nieve y el agua contenida en ella, dando origen a acumulaciones de nieve con distintas densidades.

3.2. Sobrecarga en techos

De acuerdo a la norma NCh431.Of77 la sobrecarga de nieve que debe aplicarse en el diseño de techos en

FOTO 1 Nieve caída en Santiago durante el 8 y 9 de agosto de 2007. Altitud 700 m aproximadamente



los edificios se determina a partir de una *sobrecarga básica de nieve*, corregida según la inclinación de la techumbre. Como se ha dicho la sobrecarga básica de nieve está contenida en la norma y su valor está en función de la altitud y longitud geográfica del lugar donde se emplazará la obra de construcción. Para latitudes y altitudes que no están contempladas en la norma, se establece en dicho documento un procedimiento para estimar la sobrecarga básica de nieve, el cual consiste en determinar los valores de espesor de nieve caída "en la primera ocasión propicia para ello" y multiplicar la altura de nieve acumulada por la masa específica de la misma. La masa específica de la nieve sugerida por la norma para realizar el cálculo señalado es $1,25 \text{ kN/m}^3$. La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) define para el cálculo de la sobrecarga de nieve el mismo valor. Como se verá más adelante, este procedimiento resulta simplista y puede conducir a estimaciones de sobrecarga de nieve no representativas.

Respecto de la posibilidad que la nieve no se deposite de manera uniforme sobre la estructura, la norma sugiere realizar la combinación siguiente: cargar un tramo con el 50% de la sobrecarga y los restantes con una sobrecarga igual a cero. Lo anterior es un caso muy particular respecto de todas las combinaciones que pueden presentarse.

Por otra parte, en superficies inclinadas respecto de la horizontal (inclinación de la techumbre) en que no existen obstáculos que impidan el deslizamiento de la nieve, la sobrecarga básica de nieve debe reducirse por un coeficiente *k*. El Gráfico 9 muestra

FOTO 2 Sewell. División El Teniente (J.P. Mery, agosto 2007)



para distintos ángulos de inclinación de la techumbre el coeficiente k que debe ser aplicado según la norma. Se desprende del mismo Gráfico que cuando la inclinación es menor o igual a 30°, no se aplica la corrección. Además, en aquellos casos en que la inclinación del techo es mayor a 70° no se considera sobrecarga de nieve, en el entendido que para inclinaciones tan altas la nieve no puede acumularse. En estricto rigor, la nieve desliza sin acumularse para ángulos algo menores.

Respecto de la inclinación del techo, la norma nada dice en relación con la velocidad del viento, que en algunos casos puede favorecer la eliminación de la nieve y en otros producir el efecto contrario. Tampoco dice nada en relación con las propiedades

inherentes a la cubierta, que pueden impedir o no el deslizamiento de la nieve para alturas determinadas de la misma. Por otra parte, no explica que hacer en el caso que exista la posibilidad de acumulación de nieve entre dos aguas, entre otras omisiones.

La norma NCh431 Of.77 hace referencia a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, señalando que la sobrecarga de nieve deberá compararse con la sobrecarga de techo definida por la Ordenanza, adoptándose para el diseño el valor mayor. Si se revisa la OGUC en

GRÁFICO 9 Variación de la sobrecarga de nieve en función de la inclinación de la cubierta (NCh431 Of.77)

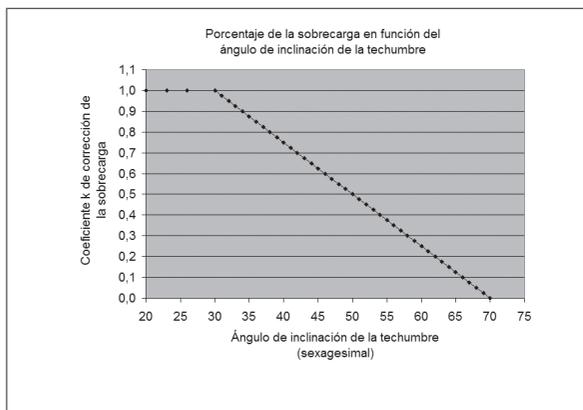


GRÁFICO 10 Densificación del manto de nieve en la cordillera central de Chile [8]

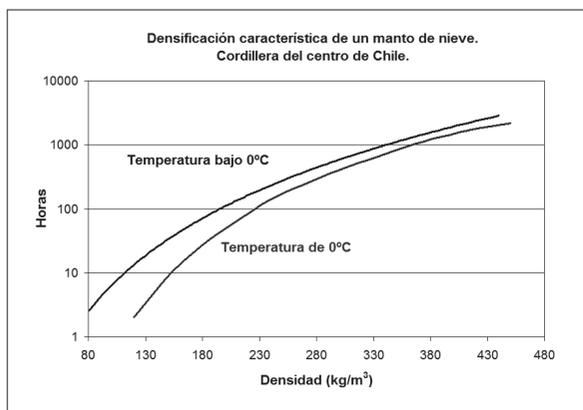


FOTO 3 Acumulación de nieve desbalanceada por cambio de pendiente de la cubierta. Albergue Lago Nero, Italia



FOTO 4 Daños en lucarna por sobrecarga de nieve, antigua estructura en Sewell



su Capítulo 4, "Solicitaciones de las Construcciones", Título 5 "De La Construcción", se establece una carga mínima para techos de 100 kgf/m² cuando la pendiente es menor a 1/20, sobrecarga que debe **adicionarse** a la determinada por viento y nieve cuando corresponda. Sin embargo, la norma NCh 431.Of77 señala expresamente que se debe adoptar el valor mayor. Surge aquí una contradicción que debe ser aclarada.

El Código A.C.I 318 – 2005, en el Capítulo 9.2.1, establece la combinación de acciones para aquellos casos en que actúa una sobrecarga de nieve en el techo de los edificios. El Código señala que en el diseño se aplicará la sobrecarga que resulte mayor entre la sobrecarga de techo (Lr), la carga de nieve (S) y la carga de lluvia (R) (excepto apozamiento). Cuando se combine peso propio (D), sismo (E), sobrecarga (L) y nieve, esta última se ponderará por 0,2.

4. Consideración para una futura actualización de la norma

4.1. Estimación de nieve y clasificación de las edificaciones

A fin de poder establecer adecuadamente las sobrecargas de nieve sobre las estructuras es necesario efectuar una caracterización previa tanto de la precipitación (nieve) como de la estructura sobre la cual se espera que se deposite.

Según el uso y ubicación de las edificaciones, es posible identificar aquellas que por su importancia o frecuencia de uso disponen de *sistemas de control o despeje de nieve* de las techumbres. Entre ellas es posible asociar en Chile fundamentalmente a las construcciones del sector productivo y otras importantes de turismo como grandes hoteles o complejos de deportivos invernales. Pero también existe una gran cantidad de construcciones de menor importancia o de uso intermitente que *no disponen de sistemas de limpieza* durante un temporal o después de él. La existencia o no de un sistema de despeje de nieve, puede permitir estimar distintas cantidades de nieve a la que estará expuesta la edificación, optimizando de este modo los diseños. Si el uso de la edificación demanda mayor o menor seguridad de estabilidad frente a la sobrecarga de nieve, incluso es posible introducir un factor de riesgo asociado a la vida útil de ella y al período de retorno de la acumulación de nieve (ver ecuación 1). No obstante, al utilizar períodos de retorno entre 50 y 100 años es posible asegurar con una alta probabilidad la no excedencia de una determinada acumulación de nieve.

Caso 1: para aquellas edificaciones que no cuenten con un sistema de limpieza después de cada temporal, lo recomendable es estimar la sobrecarga a

partir de la *acumulación total anual de nieve* en el lugar de interés para un período de retorno entre 50 y 100 años, valor que luego debe ser convertido en sobrecarga mediante un análisis de densidades. La dificultad de este análisis radica en la obtención de datos y posterior análisis estadístico probabilidades y frecuencia ellos. La obtención de datos se puede efectuar recurriendo a series históricas de precipitación nival (escasas en Chile) y apoyadas por observaciones de precipitación líquida observadas en períodos con temperatura ambiente bajo 0°C. La interpretación de imágenes satelitales también es usada aunque requiere mayor análisis teórico para poder obtener características del manto, comportamiento de la nieve y evolución de densidades. No obstante la escasa información nival en Chile, es posible recurrir a los datos de los últimos 30 años a fin de efectuar, al menos, una revisión de la tabla 2 de la mencionada norma. El análisis estadístico si bien es delicado, es posible aplicar los métodos tradicionales referidos a las clásicas funciones densidad de probabilidades y sus funciones de distribución acumuladas como Gamma, Normal, Lognormal, Gumbel, Weibull, Box-Cox, entre otras.

Es importante hacer notar que el análisis estadístico debe considerar, además de la latitud y altitud, la influencia del mar, por el efecto que la humedad y temperatura tienen en la densidad del manto. La nieve observada en la cordillera de la Costa presenta diferencias con aquella observada en la cordillera central y zona austral de Chile.

Caso 2: para aquellas edificaciones que dispongan de una planificación adecuada de limpieza y despeje de nieve después de cada temporal, lo recomendable sería estimar la sobrecarga a partir de la *acumulación anual máxima de nieve para n días*, con un período de retorno entre 50 y 100 años. Este análisis toma en cuenta solo los máximos valores de acumulación ocurridos en un año para una cierta duración en días,

situación que obliga a estudiar con mayor resolución temporal (diaria) la tasa de precipitación. En otras palabras se requiere un análisis para cada tormenta (duración e intensidad). Los espesores acumulados luego deben ser convertidos en sobrecarga por medio de un análisis de densidades, aunque a diferencia del caso 1, se debe tomar en cuenta la evolución de la densidad en unos pocos días, normalmente equivalentes a la duración de la tormenta o el tiempo transcurrido hasta las faenas de despeje. Al igual que en el caso 1, se debe proceder con un análisis estadístico de frecuencia y probabilidades.

Tanto para los casos 1 y 2, se debería efectuar una zonificación según características de la precipitación, tomando en cuenta *latitud, proximidad al mar y altitud*, en orden a establecer isolíneas de precipitación nival.

4.2. Alcances estructurales

4.2.1. Sobrecarga en techos

En general los estudios sobre precipitación de nieve arrojan como resultado un valor característico representativo de la altura de nieve acumulada en un determinado sector geográfico para un cierto periodo de retorno. Este valor representativo puede ser un valor medio, un valor nominal o bien aquel determinado mediante criterios estadísticos. Con esta información y conocida la densidad de la nieve, el cálculo de la sobrecarga básica de nieve en techos es inmediato:

$$S = h_n \cdot \gamma_e \quad (2)$$

- S sobrecarga básica de nieve (kN/m²)
 h_n valor representativo de la altura de nieve acumulada (m)
 γ_e densidad equivalente de la nieve (kN/m³)

La duda surge ahora respecto de cuál es la densidad representativa de la nieve que debe aplicarse. La norma NCh 431 Of.77 al igual que la OGUC establecen una densidad igual a 1,25 kN/m³. Sin embargo, las expresiones contenidas en la literatura especializada [1][5] muestran que la densidad de la nieve acumulada es variable con la altura, debido fundamentalmente a la compactación natural que se produce debido al peso de la misma sobre las capas inferiores. Influyen además factores asociados

con la variable tiempo, como son el proceso de sinterización, los cambios producidos en la estructura cristalina y la posible compactación eólica. Su evolución se observa en el Gráfico 10 reproducido del Manual de Carreteras, Volumen 3 [8]. La ecuación siguiente, propuesta por Architectural Institute of Japan [1], válida cuando existe control sobre la nieve acumulada, puede ser utilizada para la determinación de la densidad en función del espesor del manto de nieve depositado.

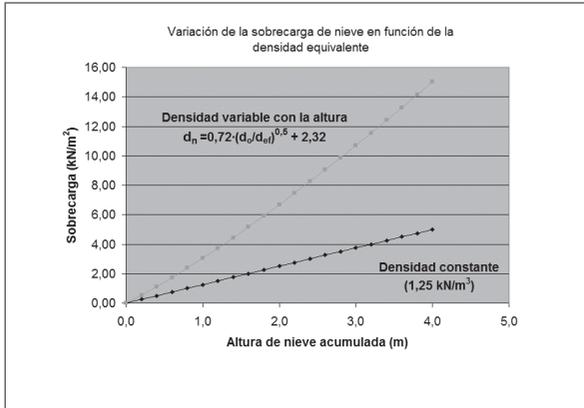
$$\rho_o = 0,72 \cdot \sqrt{\frac{d_o}{d_{ref}}} + 2,32 \quad (3)$$

- ρ_o densidad de nieve (kN/m³)
 d_o espesor básico de nieve (m)
 d_{ref} espesor de nieve de referencia (1 m)

Para una altura de nieve de 1 m la densidad que resulta de aplicar la ecuación 3 es 3,04 kN/m³ (304 kg/m³). Para espesores del manto de nieve de 3 m la densidad es 3,56 kN/m³ (356 kg/m³). El Gráfico 8 muestra los espesores equivalentes del manto de nieve para distintas sobrecargas considerando la densidad de la nieve establecida en la Norma NCh 431.Of77 de 1,25 kN/m³. De este análisis resultan alturas por sobre los 5,0 m que solo pueden explicarse bajo condiciones de acumulación de nieve de varias semanas. El Gráfico 11 muestra las diferencias en el valor de la sobrecarga que se obtienen de considerar una densidad de nieve constante (en este caso 1,25 kN/m³) en comparación con aplicar una densidad variable con la altura (ecuación 3). Se observa en el mismo Gráfico, por ejemplo, que una altura de nieve de 1,5 m, con una densidad igual a 1,25 kN/m³ conduce a una sobrecarga igual a 1,8 kN/m². Considerando la densidad variable para una altura de nieve de 1,5 m, esta produce una sobrecarga de 4,6 kN/m², es decir, 2,5 veces mayor. El Gráfico 12 muestra la variación de la densidad equivalente de la nieve en función del espesor máximo anual esperable, aplicando la expresión dada por AIJ [1].

Claramente, el aplicar una fórmula como la descrita conduce a densidades de nieve mayores al valor fijo definido en la normativa chilena. De todas formas, la ecuación 3 debe ser revisada ya que su deducción es empírica y se basa en las propiedades de la nieve existente en Japón, que pueden diferir de las características de la nieve existente en el país.

GRÁFICO 11 Variación de la sobrecarga de nieve en función de la densidad equivalente [1]



Existen otras expresiones propuestas en la literatura especializada que pueden ser aplicadas, como por ejemplo, aquella propuesta en el Manual ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures [5].

La nieve recién caída o superficial tiene una densidad aproximada de 1,0 kN/m³ y la nieve de los estratos inferiores, de mayor edad, alcanza densidades del orden de 4,5 kN/m³, es decir, cinco veces más alta. Con el tiempo la densidad de la nieve aumenta, esto implica que cuando no exista control sobre la nieve acumulada y esta pueda depositarse por varios días, la densidad deberá corregirse. Algunos modelos pueden ser consultados en el texto Recommendations for Loads on Buildings AIJ [1].

Otro aspecto importante que debe ser analizado es la posibilidad que sobre los techos la nieve se deposite de manera desuniforme, concentrándose una mayor cantidad de la misma en algunos sectores de la cubierta. Con esto se modifican las leyes de momentos

FIGURA 1 Distribución desuniforme de la nieve en el techo de una vivienda por acción del viento y geometría

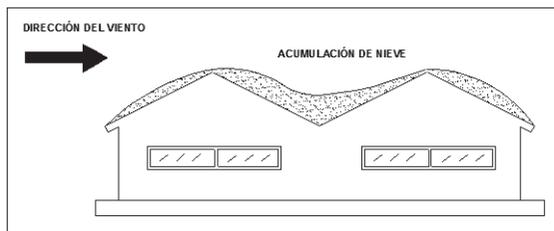
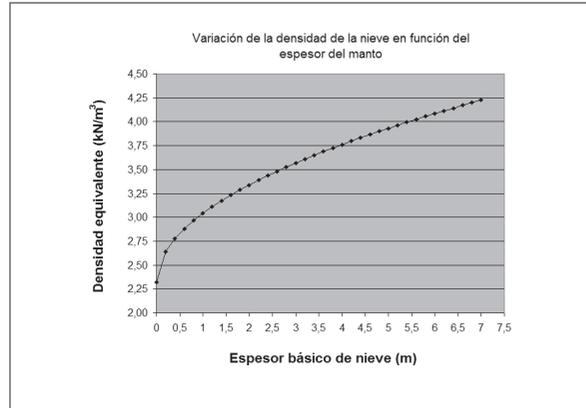


GRÁFICO 12 Variación de la densidad de nieve en función del espesor del manto [1]

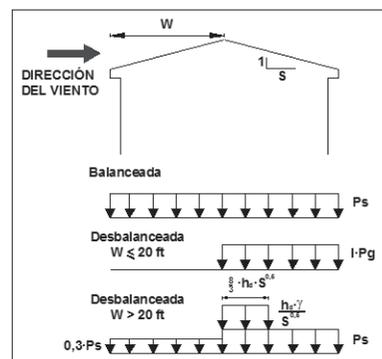


flectores y los esfuerzos de corte sobre los elementos resistentes. Las Figuras 1 y 2 muestran la situación anteriormente descrita.

Este tema está muy bien tratado en el Manual ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures [5]. La Figura 2 muestra cómo se representa la distribución real de nieve sobre el techo de un edificio de dos aguas.

En la Figura 2, P_g representa la "sobrecarga básica de nieve", I es un factor que tiene en cuenta la importancia del edificio, por ejemplo, escuelas $I = 1,1$; hospitales $I = 1,2$; S está en función de la pendiente de la cubierta, h_d es la altura de nieve que se determina en función del ancho de la cubierta y la "sobrecarga básica de nieve", γ es la densidad de la nieve y $P_s = 0,7 \cdot C_e \cdot C_t \cdot C_s \cdot I \cdot P_g$. C_e es un factor que

FIGURA 2 Carga balanceada y desbalanceada, según ASCE 7-05



tiene en cuenta el nivel de exposición de la estructura (ciudad $C_e = 1,1$; en campo abierto $C_e = 0,9$), C_t es un factor que tiene en cuenta la temperatura que puede desarrollar la cubierta, directamente relacionado con la posibilidad de derretimiento de la nieve y C_s es un factor que es función de la rugosidad de la superficie, íntimamente relacionado con la posibilidad de deslizamiento de la nieve.

Se observa que los esfuerzos que se desarrollan como resultado de aplicar esta metodología, difieren significativamente de aquellos que resultan de considerar una sobrecarga uniforme sobre el techo.

Si bien la norma NCh 431.Of77 hace referencia a la posibilidad de cargas de nieve desuniformes, el caso que plantea es muy particular y simplista, por lo que es necesario incorporar en dicha norma procedimientos que abarquen un mayor número de casos, que representen cada una de las situaciones que pueden darse en la práctica. Además se deberán establecer las distintas combinaciones de acciones que deben ser aplicadas para cada caso. En este contexto, el Código A.C.I. 318-05 en su Capítulo 9.2.1. establece que en techos se deberá adoptar como valor de cálculo aquel que resulte mayor entre la sobrecarga de techo, la sobrecarga debido a la lluvia y la sobrecarga de nieve. Es de esperar que en zonas de baja precipitación de nieve el diseño quede gobernado por la sobrecarga de techo (del orden de $1 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kgf/m}^2$). Sin embargo, para zonas de altitud considerable y zonas de latitud sur, el diseño probablemente estará condicionado por la sobrecarga de nieve.

El Instituto de Arquitectura de Japón (AIJ) [1] aborda el tema de la influencia de la geometría del techo mediante la aplicación de unos factores de forma. Según AIJ la sobrecarga de nieve se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \mu_o \cdot S_o \quad (4)$$

μ_o coeficiente de forma
 S_o sobrecarga de nieve

$$\mu_o = \mu_b + \mu_d + \mu_s \quad (5)$$

μ_b coeficiente básico de forma, que depende de la inclinación del techo y de la velocidad del viento.

μ_d coeficiente de forma que tiene en cuenta la distribución irregular de la sobrecarga de nieve. Depende de la arquitectura del techo y velocidad del viento. Por ejemplo, desnivel de techos y techos de más de dos aguas.

μ_s coeficiente que tiene en cuenta el rozamiento de la nieve con la cubierta y sus efectos en la distribución de la sobrecarga de nieve en el techo. Cuando el ángulo de inclinación es menor a 10° μ_s es cero. Si el ángulo es mayor a 25° $\mu_s = \mu_b$. Para inclinaciones intermedias el coeficiente μ_s debe ser determinado en función del material utilizado en la techumbre.

Respecto del coeficiente básico de forma, para pendientes de la techumbre comprendidas entre 0 y 25° el coeficiente se incrementa a medida que aumenta la velocidad del viento. Sin embargo, para pendientes mayores, a medida que crece la velocidad del viento el coeficiente de forma disminuye. Para velocidades de viento menores a 2 m/s el valor del coeficiente de forma varía entre $0,85$ y $1,0$. Los procedimientos descritos permiten concluir que gran parte de las variables que intervienen en la determinación de la sobrecarga de nieve en techos no están contenidas en la norma chilena. El factor de importancia del edificio, la geometría del techo y los parámetros asociados a las características inherentes a la cubierta son variables que inciden en el valor de la sobrecarga de nieve, por lo que deben ser considerados en cualquier metodología o procedimiento de cálculo que se considere riguroso.

4.2.2. Empuje lateral

En algunos casos será necesario evaluar la carga lateral que introduce la sobrecarga de nieve cuando esta se acumula al costado de las estructuras, especialmente cuando la altura de nieve acumulada es significativa, situación que no está prevista en la norma NCh 431.Of77. Un procedimiento sencillo será considerar el empuje lateral (E) suponiendo que la nieve se comporta como un suelo. La densidad equivalente puede determinarse, por ejemplo, mediante la ecuación 3. El valor de k_o debe determinarse experimentalmente. En este caso, la expresión para el cálculo del empuje al reposo (E) es la siguiente:

$$E = k_o \cdot \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \quad (6)$$

k_o constante, función del ángulo de rozamiento interno $k = 1 - \phi$
 γ densidad equivalente de la nieve (kN/m^3)
 H altura máxima de nieve acumulada (m)

Los parámetros ángulo interno de rozamiento y densidad de la nieve deben introducirse para la condición de deshielo o bien para la condición de precipitación de lluvia sobre la nieve acumulada. Para el caso en que la acumulación de nieve es triangular, el denominador de la ecuación 6 se deberá reemplazar por 4. En la Figura 3 se muestran esquemáticamente los empujes que podrían producirse por la acción de la nieve depositada al costado de la estructura.

El cálculo de la presión lateral puede también realizarse aplicando la expresión propuesta por Matsushita [1]:

$$E = 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot d_s^2 \quad (7)$$

E empuje lateral (kN/m^2)
 α : constante que varía entre 15 y 20
 d_s : altura de nieve acumulada (m)

FOTO 5 Sobrecarga en techo y empuje lateral como consecuencia de la acumulación de nieve en el suelo



FIGURA 3 Empuje lateral por acumulación de nieve

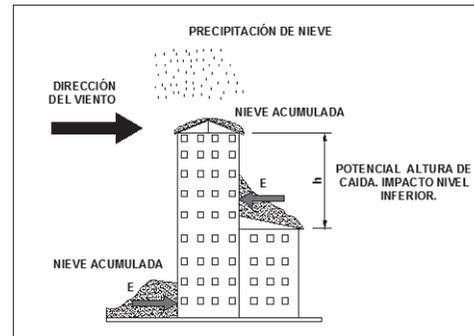


FOTO 6 Configuración de techumbre diseñada para el deslizamiento de la nieve. Sewell (J. P. Mery, agosto 2007)



FOTO 7 Acumulación debido a singularidades de la cubierta. Sewell (J. P. Mery, agosto 2007)



4.2.3. Cargas por impacto

Si bien la posibilidad que la nieve deslice por el techo cuando se acumula una cierta cantidad resulta beneficioso desde el punto de vista de la sobrecarga de diseño, no es menos cierto que el desprendimiento de nieve resulta peligroso para aquellas partes del edificio que se encuentren a un nivel inferior, es más, puede incluso atentar contra la integridad física de las personas. (Ver Foto 2).

En edificios compuestos por dos o más módulos de distinta altura, por ende, con techos a diferentes cotas, será necesario evaluar el riesgo de impacto en los niveles inferiores, como consecuencia de los desprendimientos de nieve de los techos que se ubican a mayor altura. La sobrecarga dinámica producida por el desprendimiento de nieve y posterior impacto deberá ser considerada en el diseño de los techos que están a un nivel más bajo. En la Figura 3 se observa de manera gráfica la situación descrita. La norma NCh 431.Of77 nada dice respecto de las cargas de impacto como consecuencia de desprendimientos de grandes bloques de nieve. (Ver Foto 10).

4.2.4. Otras consideraciones

El diseño de estructuras ubicadas en zonas con una alta probabilidad de precipitación de nieve se debe hacer dependiendo de si existirá o no control sobre la nieve acumulada. En aquellos casos que se contemple algún sistema de limpieza o remoción de la nieve acumulada en un periodo de tiempo preestablecido, la sobrecarga de diseño podrá ser reducida. La nieve puede ser removida mediante métodos mecánicos, manuales o bien mediante la aplicación de calor en la cubierta provocando así su derretimiento.

4.3. Recomendaciones constructivas

Aunque usualmente las recomendaciones de la norma de sobrecargas de nieve no hacen referencia a criterios y comentarios sobre soluciones constructivas, sería aconsejable incorporar ciertos lineamientos

para evitar las patologías o defectos más frecuentes. A modo de ejemplo se cita algunas de estas consideraciones:

- Elementos que frenen la caída de grandes bloques de nieve o bien los desintegren, de modo de evitar daños en niveles inferiores y salvaguardar además la integridad física de las personas.
- Elementos retenedores de la nieve ubicados en la cubierta, de baja altura, que permitan retener la nieve. Para alturas mayores, la diferencia de nieve debe deslizar. De esta manera se evitan desprendimientos de bloques para aquellas nevazones más recurrentes y no se sobrecarga demasiado la cubierta. Estas defensas retenedoras son de uso obligado en aquellos sectores de acceso al edificio o donde existan terrazas en la línea de acción de la nieve desprendida.
- Accesos expeditos a la cubierta de manera de permitir la limpieza y remoción de la nieve. Escaleras protegidas, cables de vida, entre otros.
- Orientación de los techos, cobertizos, marquesinas, etc., según la dirección predominante del viento, en aquellos casos que los requisitos arquitectónicos lo permitan (Figura 4).
- Diseño de techos con geometrías y pendientes adecuadas que minimicen la posibilidad de acumulación de nieve, especialmente se debe evitar la acumulación desuniforme de nieve.
- Uso de cubiertas de metal que permitan el deslizamiento de la nieve en aquellos casos en que el desprendimiento no ocasione daños, o este se encuentra controlado.
- Ubicación correcta de los estacionamientos. En ningún caso deben localizarse en sectores donde existe riesgo de desprendimientos de nieve.
- Localizar las puertas de acceso en las fachadas que no están expuestas a desprendimientos de nieve.
- Evitar colocar un número excesivo de accesorios o instalaciones sobre la cubierta que pudieran permitir la concentración de nieve en sectores puntuales.
- Los cables aéreos de la red eléctrica que se empalmen al edificio deben cruzar por sectores donde



FIGURA 4 Acumulación de nieve según dirección predominante del viento

no exista riesgo de desprendimientos de nieve o cornisas.

- En las fachadas que puedan quedar expuestas a empujes laterales debido a la acumulación de la nieve, debe evitarse proyectar grandes superficies vidriadas.
- El diseño debe contemplar la posibilidad de estancamiento de agua en los extremos de la cubierta,

la cual podría infiltrarse hacia el interior de la vivienda. Este fenómeno se presenta debido a que las capas inferiores de nieve tienden a derretirse producto de la mayor temperatura a que se encuentra la cubierta. Sin embargo, los aleros están a la temperatura ambiente, generándose en ese punto un represamiento que impide la evacuación del agua.

FOTO 8 *Solución tipo, cubierta edificio Aduana Los Libertadores (J. P. Mery, marzo 2007)*



FOTO 9 *Cubierta y accesorios tipo en edificación de cordillera. La Parva (J. P. Mery, marzo 2007)*



FOTO 10 *Barrera horizontal para retener y/o desintegrar desprendimiento de nieve. Colón. División El Teniente. (J. P. Mery, agosto 2007)*



FOTO 11 *Cubierta metálica con dispositivos de seguridad para el despeje manual de nieve (J. P. Mery, marzo 2007)*



5. Conclusiones

La norma NCh 431 Of.77 debe ser actualizada. Las últimas investigaciones realizadas en el campo de las solicitaciones que actúan en las estructuras han demostrado que para el caso de la sobrecarga de nieve, no solo basta con conocer la sobrecarga básica de nieve, sino que además se deben evaluar factores asociados al medio ambiente, a la geometría del techo, a las características inherentes de la cubierta, a la aplicación o no del control de la nieve acumulada, a la importancia del edificio, a la determinación de una densidad de nieve equivalente, entre otras. Se desprende de los puntos analizados en el presente artículo que cada uno de estos factores tiene una incidencia importante en el valor final de la sobrecarga de nieve que se aplica en los cálculos, así como sus combinaciones. La norma, al no contener muchos de estos factores resulta simplista y limitada. Sus falencias impiden su aplicación directa y en la mayor parte de los casos, los diferentes aspectos del diseño, que guardan

relación con la sobrecarga de nieve, deben ser resueltos por los proyectistas estructurales. Es necesario contar con una norma moderna, actualizada, que regule el diseño, defina el marco de acción a los especialistas involucrados, establezca requisitos mínimos, oriente sobre los aspectos básicos que deben ser considerados, y por último, entregue recomendaciones constructivas para evitar problemas frecuentes, entre otros.

La arquitectura de los edificios ubicados en zonas de precipitación de nieve debe considerar todos los factores aquí tratados de manera de lograr estructuras más seguras y un uso más racional de los recursos. Medidas básicas como orientar los techos en función de la dirección predominante de los vientos, usar pendientes adecuadas, evitar geometrías muy intrincadas que permiten, por ejemplo, la acumulación de nieve entre dos aguas, garantizar el deslizamiento de la nieve para una cierta altura de la misma, adoptar medidas de control de la nieve depositada, entre otras, garantizarán un diseño racional y un mayor grado de seguridad.

Bibliografía

1. Architectural Institute of Japan (AIJ). Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 5, Snow Load. Año 2004.
2. Us Army Corps of Engineers. Technical Instructions. Commentary on Snow Loads. 2005.
3. Morata, A., Tanner, P., Luna, Y., Almarza, C. Sobrecarga de Nieve Máxima sobre Superficie Horizontal: Diferencias Regionales en España. IV Congreso de la Asociación Española de Climatología. 2004.
4. Instituto Nacional de Normalización (INN). NCh 431.Of77, Construcción – Sobrecargas de Nieve. 1977.
5. ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers / 01-Jan-2006 / 424 pages. ISBN: 0784408092.
6. ACI 318S-2005. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
7. Instituto Nacional de Normalización (INN). NCh 433.Of96. Diseño Sísmico de Edificios. 1996.
8. Ministerio de Obras Públicas, MOP. Manual de Carreteras, Volumen 2 y 3. Santiago, Chile. 2002.
9. O'Rourke, M. Ph.D. Snow Provisions in ASCE 7-05. American Forest & Paper Association, Inc. 2006.
10. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Santiago, Chile. 2007.
11. Buendía, G. Deducción de una Expresión para Predecir la Cota de la Nieve en Castilla y León. 5º Simposio de Predicción. Cantabria, España. Noviembre 2001.
12. Cansado, A. Navascués, B. Mejora del Análisis del Espesor de Nieve en HIRLAM. XXVIII Jornadas Científicas de la AME (Badajoz). Febrero 2004.