

> **GUÍA DE CONSULTA**

Análisis y recomendaciones sobre Efectos del Viento
en el Diseño de Líneas Aéreas de redes eléctricas en Chile



Guía de consulta:
**ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES SOBRE EFECTOS
DEL VIENTO EN EL DISEÑO DE LÍNEAS AÉREAS DE REDES ELÉCTRICAS EN CHILE**

Edición
Septiembre de 2017

Elaboración y Producción:
Comité Chileno del CIGRE

Editores:
Marcela Aravena R. - Arturo Gajardo V. - Manuel Silva P.

Diseño y Diagramación:
Vertical Brand Limitada

Impresión:
GRAFHIKA IMPRESORES

Impreso en Chile
Toda reproducción total o parcial deberá citar claramente a
Comité Chileno del CIGRE
www.cigre.cl

PREFACIO

La presente Guía ha sido elaborada por la Ingeniero Civil Estructural, Sra. Marcela Aravena R. y el Ingeniero Civil Electricista, Sr. Arturo Gajardo V. ambos socios CIGRE, en base al Tutorial dictado por ellos en CIGRE Chile: “Viento para Diseño de Líneas Aéreas de Redes Eléctricas en Chile”, el 17 de abril del 2017.

Esta Guía busca ayudar, tanto a los profesionales que toman decisiones de desarrollo de proyectos de líneas eléctricas aéreas, como a los profesionales que diseñan estos proyectos, en la determinación de las solicitudes de viento para el diseño de proyectos de redes eléctricas, mientras se elabora y emite en Chile una normativa adecuada para esos diseños.

Con este objetivo, en esta Guía se señalan los conceptos básicos asociados al viento y los factores que inciden en el cálculo de las fuerzas de viento, destacando con otro color los conceptos y factores que los autores consideran más relevantes para entender esta solicitud, en base al análisis del viento en las siguientes normas nacionales y extranjeras, y la experiencia de los autores:

- **NSEG 5 E.n 71** “Electricidad. Instalaciones de Corrientes Fuertes”, Norma Técnica actualmente vigente para el diseño de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, donde en su Capítulo VI, se refiere en particular al diseño de líneas aéreas y cuyo texto data de 1955.
- **NCh 432-2010** “Diseño Estructural. Cargas de Viento”.
- **Las normas ASCE Manual N° 74-2010 e IEC 60826-2003** específicas para el diseño de líneas aéreas de transmisión.

En base dicho análisis y al comportamiento que han tenido las líneas a la fecha, los autores analizan la aplicabilidad o no de la norma de Viento para Diseño de Estructuras NCh 432-2010, en el diseño de líneas aéreas y determinan limitaciones de altura de estructuras y de velocidades de viento para las presiones de viento definidas en la norma NSEG 5 E.n 71, en Zona II y Zona III, limitaciones en base a las cuales se concluye, por ejemplo, que las líneas de 2x500 kV estarían quedando fuera del rango de validez de las presiones de viento de diseño señaladas en dicha norma.

Finalmente, se afirma y señala la necesidad urgente de elaborar una norma específica para el diseño de líneas aéreas de redes eléctricas y también se indica la visión de los autores y de CIGRE Chile de cómo debiera ser la metodología general para elaborar esta norma.

El Comité Chileno del CIGRE, agradece la importante y destacada participación de los profesionales, Sra. Marcela Aravena R. Ingeniero Civil Estructural y el Sr. Arturo Gajardo V. Ingeniero Civil Electricista (ambos socios CIGRE).

Índice



Juan Carlos Araneda T.
Presidente
CIGRE Chile



Hernán Casar C.
Director Técnico
CIGRE Chile



ÍNDICE

10

Introducción

15

Sección 1:

Norma NSEG 5 E.n 71

27

Sección 2:

Conceptos básicos asociados al viento

43

Sección 3:

Fuerza de viento sobre cualquier elemento

65

Sección 4:

Ejemplos numéricos

81

Sección 5:

Conclusiones con respecto a NSEG 5 E.n 71

91

Sección 6:

Análisis general NCh 432-2010 y su relación con líneas aéreas de transmisión/distribución.

105

Sección 7:

Conclusiones finales y recomendaciones

121

Autores

127

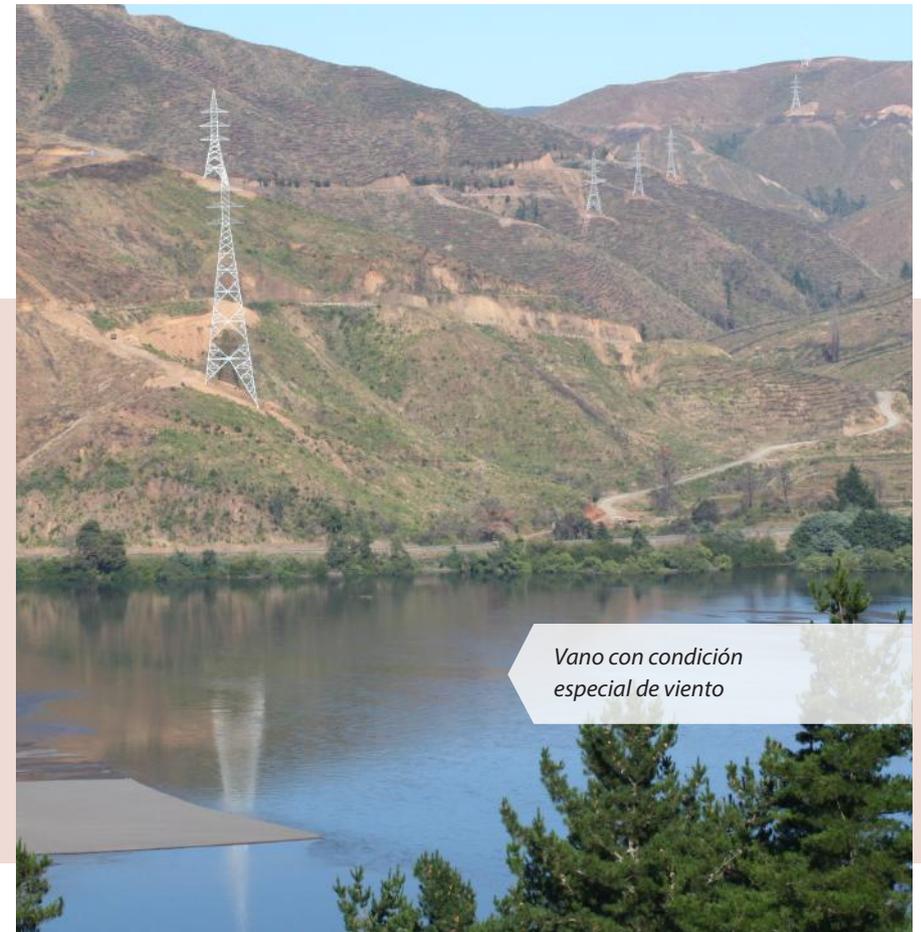
Bibliografía

INTRODUCCIÓN

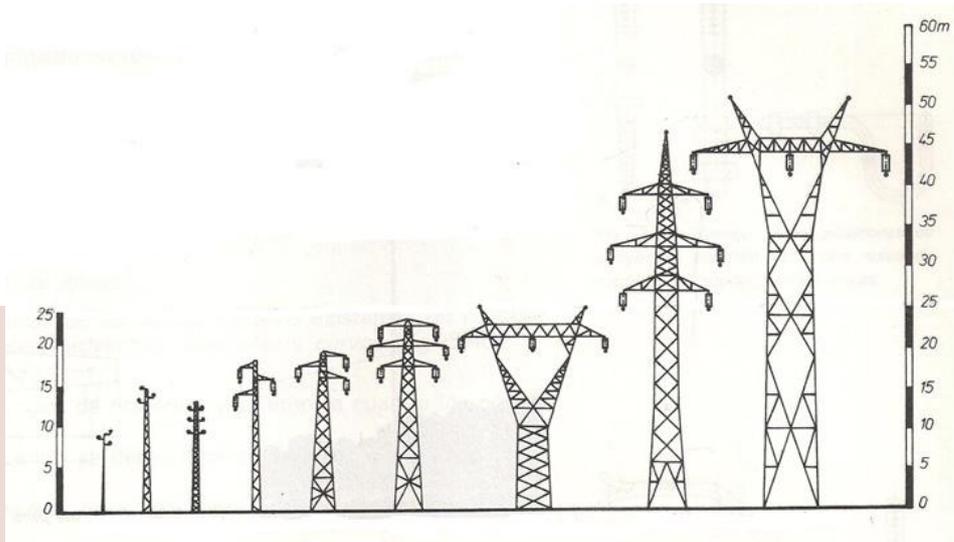
El viento es un fenómeno aleatorio que depende, entre otros, de la zona (costa, terrenos planos de campo abierto, ciudad, montaña), de la altura sobre el nivel del suelo y también de las condiciones geográficas locales (norte, sur, cordillera, desierto, etc).



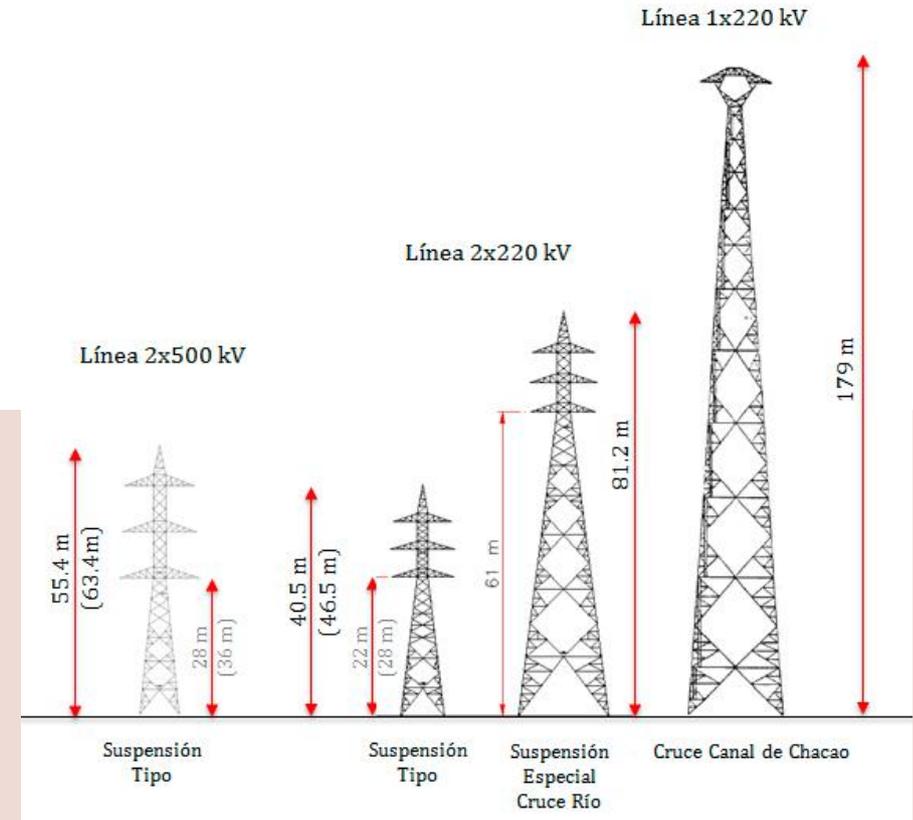
A lo largo de una línea aérea se pueden tener distintas condiciones de viento, ya sea por cambio de condiciones geográficas en un tramo de la línea o por cambio de condiciones locales en algún vano en particular.



El sistema de redes de líneas aéreas tiene distintas alturas de estructuras, ya sea por conceptos de tensión eléctrica propiamente tal, como por situaciones particulares de un tramo de la línea.



Ejemplos de alturas reales de estructuras en líneas del sistema de transmisión



Si bien la Norma NSEG 5 E.n 71 existe como tal desde 1971, el texto de las disposiciones que allí se señalan corresponden a la versión original de la norma que data de 1955.

Aún así, en Chile existen líneas de transmisión diseñadas desde fechas anteriores a 1955 que han tenido buen comportamiento y que probablemente sirvieron de base para la elaboración del Reglamento. Dentro de estas líneas, se citan como ejemplo las siguientes:

1915	Línea de 110 kV Tocopilla – Chuquicamata Con esta línea Chile fue el sexto país del mundo en tener una línea de este nivel de tensión.
1923	Línea 2x110 kV Maitenes – San Cristóbal
1924	Línea 2x110 kV San Cristóbal – Las Vegas – Miraflores Posibilitó la electrificación del ferrocarril Santiago – Valparaíso.
1926	Línea 2x66 kV Coya – Sewel
1928	Línea 2x88 kV Barquito – Potrerillos Posteriormente energizada en 110 kV.
1946	Línea 2x66 kV Pilmaiquén – Osorno – Puerto Montt
1952	Línea 2x66 kV Los Molles – Ovalle
1952	Elaboración de las Bases de Diseño de la Línea Cipreses – Itahue Línea que por su longitud y ubicación tiene condiciones de viento con hielo y de viento sin hielo.

SECCIÓN 1

Norma NSEG 5 E.n 71



1.1. NSEG 5 E.n 71

- Reglamento actualmente vigente para la ejecución de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes.
- En su Capítulo VI se refiere al Diseño de Líneas Aéreas (tanto de Transmisión como de Distribución).
- Zonifica el país en 4 zonas y define condiciones meteorológicas de diseño para tres de ellas.
- En general, norma criterios de diseño eléctricos, tales como distancias de seguridad, y criterios de diseño de estructuras de soporte, tales como solicitaciones debido a conductores, y viento y factores de seguridad.

1.2. CRONOLOGÍA

- Decreto 4.188, publicado en el Diario Oficial el 12.Nov.1955, con el nombre de "Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes".
- Resolución Exenta N° 692 del 24.Sept.1971 de la Superintendencia de Servicios Eléctricos, de Gas y de Telecomunicaciones: Decreto 4.188 pasa a Norma Técnica NSEG 5 E.n 71 "Electricidad. Instalaciones de Corrientes Fuertes". No hay modificación al texto de 1955.
- Resolución Exenta N° 137 del 01.Dic.1993 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción: deroga un artículo; el resto de los artículos se mantienen.
- Diciembre 2014 a Junio 2015: proceso de Consulta Pública de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) de una versión actualizada denominada "Reglamento de Seguridad de Instalaciones destinadas a la Producción, Transformación, Transporte y Distribución de Energía Eléctrica".
- Abril 2017: Sigue vigente NSEG 5 E.n 71 cuyo texto es de 1955.

1.3. PRESIÓN DE VIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS

Zona I: Cordillera	<i>Básicamente está delimitada por la altura geográfica (msnm) dentro de un rango de paralelos (norte-sur).</i>
Zona II: Sin nombre (en general es zona costera)	<i>"Comprenderá en general una franja costera de 20 km de ancho entre los paralelos de Tongoy y Puerto Montt".</i>
Zona III: Sin nombre (en general es zona valle)	<i>"El resto del país al norte del paralelo de Puerto Montt".</i>
Zona IV	<i>"El resto del país al sur del paralelo de Puerto Montt".</i>

Zonificación según Artículo 112°

Representación Gráfica Zonas NSEG 5

Mapa de Relieves IGM modificado para efectos de esta presentación



Artículos relacionados con el diseño:

- Artículo N° 113.2 define parámetros de viento, temperatura y espesor de hielo sobre conductor para las 4 zonas.
- Artículo N° 117.3 define parámetros de viento sobre estructuras de soporte y otros elementos para las 4 zonas
- Artículos N° 113.1, 119.1 y 120.2 definen factores de seguridad/mayoración/sobrecarga para el diseño de conductor y de estructuras de soporte.
- Artículos 121.2 y 122.3 definen condiciones de diseño para postes de madera y para tirantes respectivamente.

Art. 113.2
Viento en conductor

	Presión del viento kg/m ² .	Espesor radial de la capa de hielo mm.	Temp. °C
Zona I	20	10	- 10
Zona II	50	-	0
Zona III	40	-	- 5
Zona IV	-	no se especifica	

117.3.- Solicitaciones debidas a la presión del viento sobre la estructura de soportes u otros elementos. Según la zona de ubicación de la línea, la presión que se adoptará será la dada en la siguiente tabla:

	Zona I kg/m ² .	Zona II kg/m ² .	Zona III kg/m ² .
Sobre superficies planas golpeadas perpendicularmente.....	120	100	80
Sobre las superficies aparentes de elementos cilíndricos de diámetro igual o mayor que 50 cm.....	70	60	50
Id. de diámetro menos que 50 cm.....	60	50	40

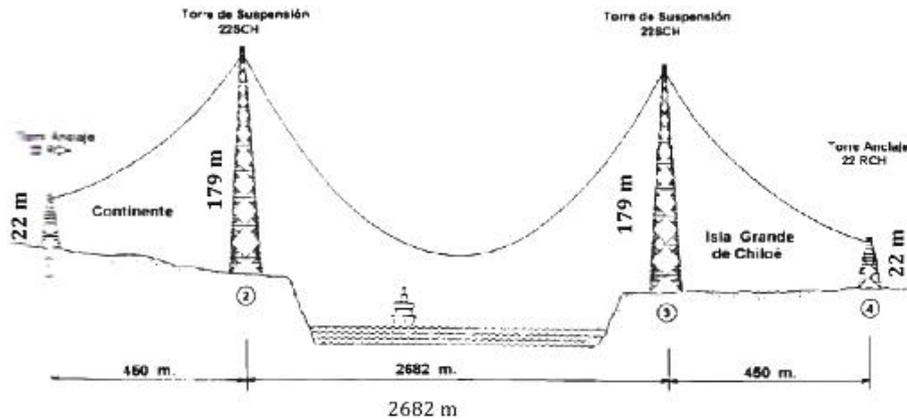
La presión que se adopta en la Zona IV deberá justificarse. En el caso de soportes armados en celosía se adoptará para la cara que queda protegida una presión de viento a lo menos igual a la aplicada sobre la cara directamente atacada salvo justificación especial mediante cálculo.

1.4. EXPERIENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS LÍNEAS DEL SISTEMA

- Parámetros meteorológicos se utilizan desde 1955, fecha de publicación original.
- Las líneas existentes en **Zona II y Zona III**, diseñadas con dichos parámetros, en general han tenido un buen comportamiento, tanto en líneas con dirección Norte-Sur como en líneas con dirección Este-Oeste. Las fallas presentadas han sido debidas a:
 - ✓ Cortadura de conductor (engrampe, acciones de terceros, fatiga natural de material por años de servicio).
 - ✓ Falla de aislación en zonas muy contaminadas.
 - ✓ Fallas estructurales por condiciones locales como por ejemplo derrumbes, intervenciones de terceros.
 - ✓ Inclinación de estructuras de soporte en postes (hormigón o reticulados), en algunas líneas de distribución y transmisión por problemas de fundación:
 - Falta de compactado del relleno de fundación en postes de hormigón (enterrados).
 - Problema de estabilidad en suelos de baja capacidad de soporte o saturados.
 - ✓ Fallas por acercamiento fase-estructura, de algunas estructuras de ciertas líneas particulares por ubicación equivocada de estructuras de suspensión (puntos bajos de la línea).
 - ✓ **Fallas por acercamiento fase-fase, en algunos vanos especiales específicos de algunas líneas particulares, como por ejemplo cruces de quebradas (condición particular de viento).**
- Las fallas señaladas para líneas existentes en Zona II y Zona III no corresponden a condiciones meteorológicas de diseño insuficientes para la línea, pero en algunos casos, sí a zonas particulares dentro de la línea que tienen condiciones meteorológicas especiales.
- El comportamiento de líneas existentes en Zona I, diseñadas ya sea con las condiciones señaladas en la NSEG 5 o con condiciones mayores, ha sido variable: algunas han tenido buen comportamiento y otras no.
- Problemas detectados en líneas de Zona I incluyen fallas del tipo eléctrico, producidas por acercamiento de fases, galloping o ice-jump, y fallas del tipo estructural producidas por corte de conductor y por caída de estructuras. Ambos tipos de fallas se asocian a condiciones meteorológicas de diseño insuficientes debido principalmente a falta de información.
- En cuanto a la Zona IV, se puede decir que está compuesta por varias microzonas meteorológicas diferentes entre sí, para las cuales se dispone de poca información.

5. CASOS ESPECIALES

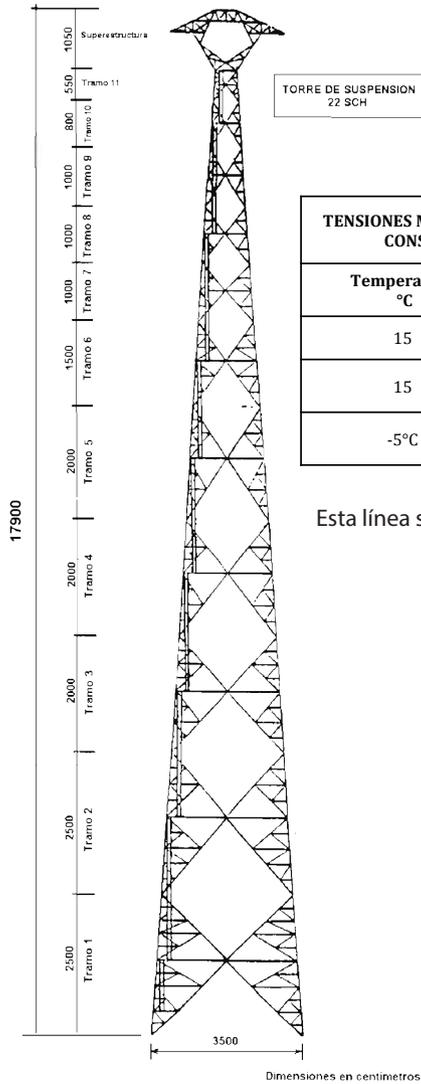
5.1 Cruce de Canal de Chacao



Fuente: Memoria Título
"Construcción Cruce Aéreo Línea de Transmisión
Eléctrica en el Canal de Chacao"
Andrés Gabler, 1999

- Cruce largo, torres altas, zona de vientos especiales...
¿Con qué condiciones se diseña el cruce?
- Información existente:
 - ✓ Cuantitativa: Sin antecedentes de registros de viento.
 - ✓ Cualitativa: Aviadores tramo Pto. Montt-Ancud... Viento arriba mucho más fuerte que abajo.
- Medición de viento por 5 años en el canal, sector cercano a Roca Remolino, más comparación cualitativa de información existente en Puerto Montt y Punta Corona (faro habitado cercano a Ancud).
- Definición de presión de viento máxima de 200 kg/m² en conductor y factor de mayoración de 1,5.

Cruce de Canal de Chacao



TENSIONES MECÁNICAS FINALES HORIZONTALES DE LOS CONDUCTORES CONSIDERADAS EN EL CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES		
Temperatura °C	Presión de Viento kg/m ²	Tensión Kg
15	0	22.223
15	50 (viento un cuarto)	23.454
-5°C	200 (viento máximo)	35.250

Esta línea se puso en servicio en 1995 y a la fecha ha tenido un buen comportamiento.

5.2 Línea Zona Cordillera



Periodo de invierno:

- Ventiscas fuertes transversales a la línea.
- Acumulación de hielo en las estructuras y conductor.

SECCIÓN 2

Conceptos básicos asociados al viento



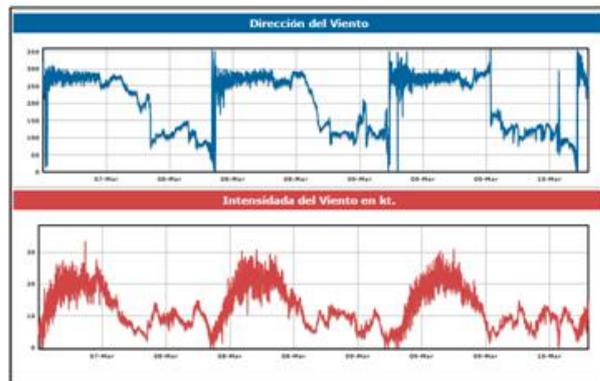
2.1. VELOCIDAD DE VIENTO

2.1.1 Viento y Velocidad de Viento

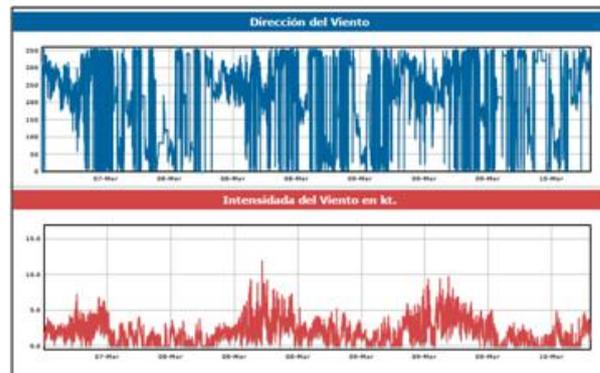
- Viento es un fenómeno aleatorio causado por diferencias de presión y se registra en base a su velocidad y a su dirección.

Ejemplos de registros

Fuente: Dirección de Meteorología



Registro El Loa, Calama



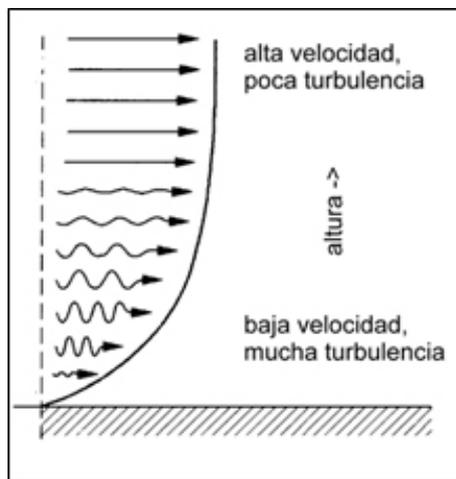
Registro Univ. Arturo Prat, Iquique

- Por ser un fenómeno aleatorio, las solicitaciones debidas al viento se definen mediante análisis estadístico.
- Los análisis estadísticos tienen asociadas los siguientes conceptos implícitos:
 - ✓ Bases de datos de registros (calidad/precisión de los registros)
 - ✓ Definición de distribución estadística.
 - ✓ Dispersión de los datos.
 - ✓ **Periodo de retorno o probabilidad de excedencia.**
- El valor de velocidad de viento que se registra depende de dónde se mide (altura sobre el nivel del suelo), cómo se mide y por cuánto tiempo se mide el dato.
- La mayor información de velocidades de viento se tiene normalmente en aeropuertos y aeródromos.

2.1.2 Velocidad de Viento y Altura

- La velocidad de viento aumenta con la **altura**.
- El aumento de la velocidad de viento en altura depende de la **rugosidad del terreno**.
- La rugosidad del terreno depende de la topografía, de la vegetación existente y de la presencia de otras construcciones.

- A partir de cierta altura, conocida como altura gradiente, puede considerarse que la velocidad de viento es constante; esa altura depende también de la rugosidad del terreno.



Viento y Altura

2.1.3 Viento Base

- Está **referenciado** a una altura de **10 metros** sobre el nivel del suelo
- Le corresponde una definición de velocidad como por ejemplo:
 - ✓ Máxima mensual/anual.
 - ✓ Máxima promedio.
 - ✓ Velocidad de ráfaga de t segundos.
 - ✓ Otra definición.

2.2. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE VIENTO

2.2.1 Norma NSEG 5 E.n 71 [1]

- Señala presiones de viento en conductor y en estructuras de soporte según su forma (Artículos 113.2 y 117.3).

2.2.2 Manual ASCE N° 74-1991 [2]

- Velocidad de **viento base**: "fastest mile wind speed" medida a 10 metros sobre el nivel del suelo en un terreno plano de campo abierto (Zona C según numeral 3 en Sección 2), asociada a un periodo de retorno de 50 años.
- Corresponde a la máxima velocidad de viento promediada sobre el periodo de tiempo requerido para pasar en un punto un volumen de aire de una distancia horizontal de una milla (anemómetro).
- Definición basada en los dispositivos de registro que existía en los años 90 en EEUU.
- Documento entrega un mapa de viento de EEUU donde la velocidad mínima de Viento Base para el diseño de líneas de transmisión es de 70 mph (113 km/hr) para un periodo de retorno de 50 años.

2.2.3 Manual ASCE N° 74-2010 [3]

- Velocidad de viento base: "3-sec gust wind speed" medida a 10 metros sobre el nivel del suelo en un terreno plano de campo abierto (Zona C según numeral 3 en Sección 2), asociada a un periodo de retorno de 50 años.
- Corresponde a la velocidad de la ráfaga de viento promediada en un intervalo de tiempo de 3 segundos.
- Documento entrega un mapa de viento de EEUU donde la velocidad mínima de Viento Base para el diseño de líneas de transmisión es de 90 mph (145 km/hr) para un periodo de retorno de 50 años.

2.2.4 Norma IEC 60826-2003 [4]

- Velocidad de **viento base**: se determina mediante un análisis estadístico de la velocidad de viento medido a 10 metros sobre el nivel del suelo promediada en un periodo de tiempo de 10 minutos en un terreno plano de campo abierto (Zona B según numeral 3 en Sección 2) para un periodo de retorno de T años.
- Documento reconoce que hay países, como EEUU, que cambiaron el intervalo de tiempo para medir la velocidad del viento base a 3 segundos. En uno de sus Anexos, esta norma entrega un gráfico para la conversión de velocidades de viento base según tiempo de medición y según Zona de Rugosidad.

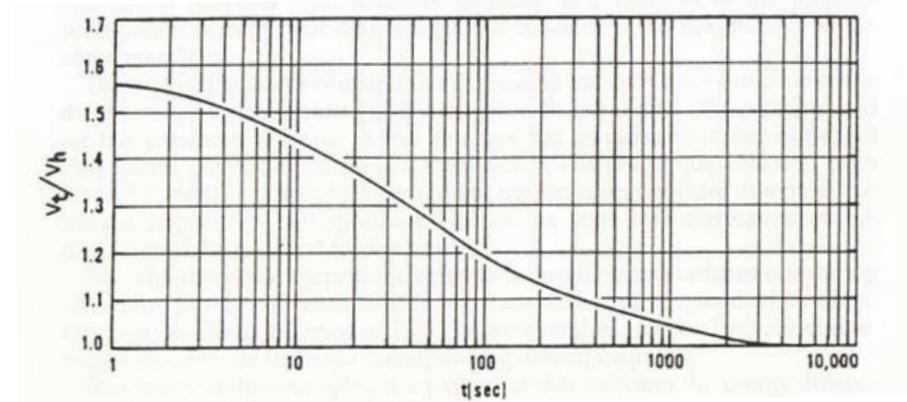
2.2.5 Norma NCh 432-2010 [5]

- Velocidad de **viento base**: debe ser estimada a partir de información climática regional, la que debe abarcar un periodo no menor a 5 años, la cual no debe ser menor que la velocidad de viento asociada a la probabilidad anual de 0,02 (media de un intervalo de 50 años) y la estimación se debe ajustar a la equivalencia de la velocidad de ráfaga de 3 segundos a 10 metros por sobre el terreno en exposición de campo abierto (Zona C según numeral 3 en Sección 2).
- Documento incluye Tabla 5 con velocidades de viento registradas en 24 puntos a nivel nacional, principalmente aeródromos y aeropuertos, e incluye un mapa de sectorización del país en un eje norte-sur.

2.2.6 Otros

Velocidad horaria del viento "hourly wind speed": velocidad promedio de un intervalo de tiempo de 1 hora. Comúnmente utilizada como velocidad de referencia en simulaciones en túneles de viento.

2.2.7 Conversión de Velocidades de Viento ASCE [2][3]



Curva de Durst (1960) para Zona C en ASCE 74.
 Referencia corresponde a "Velocidad horaria" Vh

Valores Curva de Durst

Viento	Factor
1 hora	1.00
10 minutos	1.067
3 segundos	1.526

$$V_{3s} = 1.526 / 1.067 * V_{10min}$$

$$V_{3s} = 1.43 * V_{10min} \quad \text{ASCE Zona C}$$

2.2.8 Conversión de Velocidades de Viento IEC [4]

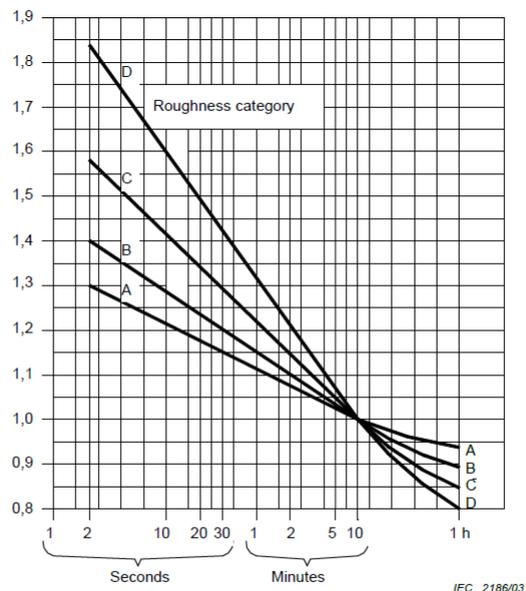


Figure A.7 – Relationship between meteorological wind velocities at a height of 10 m depending on terrain category and on averaging period

Relación de velocidades de viento IEC 60826-2003
Referencia corresponde a "Velocidad en 10 minutos"

$$V_{3s} = 1.38 * V_{10min} \quad \text{IEC Zona B} \\ \text{(equivalente a ASCE Zona C)}$$

2.3. RUGOSIDAD DEL TERRENO (Zonas de Exposición)

- El viento es influenciado por la rugosidad del terreno.
- A mayor rugosidad, mayor turbulencia.
- La rugosidad del terreno es relevante en:
 - ✓ La definición de la velocidad del viento de diseño.
 - ✓ En el factor **de ráfaga**.
- Descripción de Zonas de Exposición es similar en ASCE N° 74 (1991 y 2010) y NCh 432-2010.
- Descripción de Zonas de Exposición ASCE N° 74 (1991 y 2010) es más detallada que IEC 60826-2003.

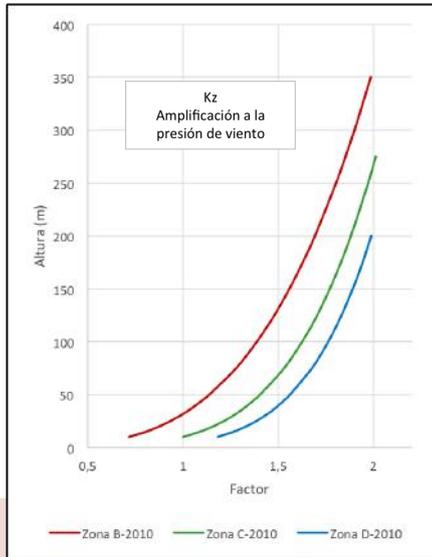
Ejemplos de curvas de amplificación

Descripción según ASCE N° 74	Zona Exposición ASCE N° 74 [2][3] NCh 432-2010	Equivalencia Zona Exposición IEC 60826-2003
Áreas urbanas y suburbanas, áreas arboladas u otros terrenos con numerosos obstáculos poco espaciados de tamaño similar a una vivienda unifamiliar o mayor.	B	C
Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas con alturas en general menores que 9,1 m. Esta categoría incluye zonas planas en campo abierto, granjas, pastizales. Se utiliza cuando la descripción del terreno no puede ser categorizado en las otras zonas de exposición.	C	B
Áreas planas, áreas sin obstrucciones directamente expuestas al viento proveniente de aguas abiertas por una distancia de a lo menos 1,6 km. Aplica a estructuras directamente expuestas a cuerpos de agua y zonas costeras. Se extiende hacia el interior hasta una distancia de 460 metros (1.500 pies) o 10 veces la altura de la estructura, la que sea mayor.	D	A

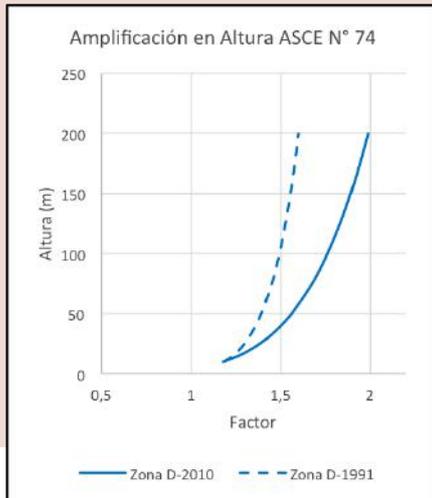
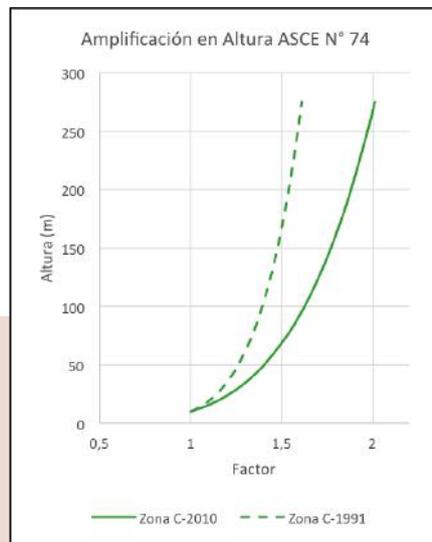
Notas:

1. Norma IEC 60826-2003 recomienda que líneas de transmisión en Zona D (áreas suburbanas o terrenos con muchos árboles altos) sean diseñadas como en Zona C.
2. ASCE N° 74-1991 dice que "Zona A" no es aplicable a líneas de transmisión. Versión de 2010 no la menciona.
3. NCh 432-2010 no menciona Zona A.

Ejemplos de curvas de amplificación



ASCE N°74-2010: K_z es amplificación a la presión de viento
 ASCE N°74-1991: Z_v es amplificación a la velocidad de viento



Factor de conversión

Factor de conversión **Viento Base** (10 metros) Zona C a otras zonas

Zona	ASCE N° 74 1991	ASCE N° 74 2010	IEC 60826 2003	NCh 432 2010
B (C)	0.72	0.72	0.85	0.72
C (B)	1	1	1	1
D (A)	1.18	1.18	1.08	1.18

Notas:

1. Zona entre paréntesis: zona según clasificación Norma IEC 60826-2003
2. Factor de conversión disminuye con la altura

2.4. PRIMERAS CONCLUSIONES

- Conclusión 1: Velocidad de Viento.
- Conclusión 2: Normativas Nacionales.
- Conclusión 3: Normativas Nacionales e Internacionales.

C1 Velocidad de Viento

- Viento es un fenómeno aleatorio => la solicitación se define mediante análisis estadístico.
- Análisis estadísticos tienen asociado implícitamente, entre otros, registro de datos y **probabilidad de excedencia**.
- La información de viento que se registra es velocidad de viento. La velocidad de viento depende de las características propias de la región/país donde se mide y de la manera de medirse.
- Los registros de velocidad de viento se miden a 10 metros sobre el nivel del suelo o se corrigen para asimilarlos a dicha altura. Este viento se define como **Viento Base**.
- El valor del viento base depende de cómo se registra o mide el viento.
- La fuerza de viento sobre un elemento cualquiera depende, entre otros, de la velocidad de viento y de la altura donde se encuentra el elemento.
- Actualmente algunos países definen sus velocidades de viento según medición de velocidad promedio de 10 minutos y otros según velocidad de ráfaga promedio en 3 segundos.
- Velocidades de viento registradas en 10 minutos tienen valores menores que registros en 3 segundos => relevante conocer cómo se midió el valor => **Viento Base debe tener un "apellido"**.
- Distintas normativas definen distintos factores de conversión entre velocidades de viento.
- Normativas de viento recomiendan definir valores en base a estadísticas que permitan definir vientos con **periodos de retorno de 50 años**, lo que es equivalente a tener una **probabilidad de excedencia de 2% anual**.
- La mayor información estadística de velocidades de viento se obtiene principalmente en aeropuertos y aeródromos, los que en general corresponden a Zona C definida según normas ASCE y NCh 432-2010.
- A nivel internacional, en general se consideran tres Zonas de Exposición según sea la rugosidad del terreno ("nombre" según ASCE y NCh 432-2010, entre paréntesis "nombre" según IEC 60826-2003).
 - ✓ Zona B (C): zona urbana.
 - ✓ Zona D (A): zona costera abierta, zona cercana a cuerpos de agua de gran superficie.
 - ✓ Zona C (B): zonas de terrenos abiertos, zonas no clasificables en alguna de las otras dos.
- Para obtener velocidades de viento en otro tipo de terreno, las normas definen factores de adecuación, los que difieren según norma.
- Viento Base en Zona B es menor que en Zona C. Viento Base en Zona D es mayor que en Zona C.

C2 Normativas Nacionales

- NSEG 5 E.n 71 define presiones de viento para diseño, al igual que la versión anterior de la NCh 432 (1971).
- NCh 432-2010 define velocidades de viento para diseño, lo que es consecuente con las normativas internacionales relacionadas con cargas de viento.
- NCh 432-2010 define una **probabilidad de excedencia anual de 2%** (lo que es equivalente a tener un **periodo de retorno de 50 años**), lo cual es consecuente con normativas internacionales relacionadas con cargas de viento, incluyendo normativas internacionales de diseño de líneas de transmisión (distribución).
- La norma NCh 432-2010 sectoriza el país desde el punto de vista de condiciones de viento en un eje norte-sur (cinco zonas):
 - ✓ Reconoce que las condiciones de viento aumentan de norte a sur.
 - ✓ No hace ninguna distinción en un eje este-oeste.
- La norma NSEG 5 E.n 71 sectoriza el país desde el punto de vista de condiciones meteorológicas (viento y hielo) en un eje norte-sur (dos zonas) y en un eje este-oeste (tres zonas):
 - ✓ Reconoce que la zona costera (Zona II) tiene condiciones de viento mayores que la zona valle (Zona III).
 - ✓ Reconoce que la zona cordillera tiene condiciones especiales: vientos más grandes que Zona II y Zona III y presencia de hielo.
 - ✓ Reconoce que zona al sur de Puerto Montt no tiene información suficiente para su caracterización.
- En general, Zona III de NSEG 5 se puede asociar a Zona de Rugosidad C y Zona II de NSEG 5 se puede asociar a Zona de Rugosidad C o D según sea la distancia de la línea con respecto a la costa, identificación de Zona de Rugosidad de NCh 432-2010 (y ASCE N° 74).

C3 Normativas Nacionales e Internacionales

- El Manual ASCE N° 74 mantiene la definición de viento base en cuanto a definir velocidad de viento a 10 metros sobre el nivel de terreno en Zona C y periodo de retorno de 50 años, pero modifica la manera de medir esa velocidad de viento a partir de su versión del 2010.
- La modificación en la manera de medir la velocidad de viento en el Manual ASCE N° 74 conlleva a modificar al alza la velocidad de viento base mínima para el diseño de líneas de transmisión en EEUU, pasando de 70 mph (1991 “millas más rápida”) a 90 mph (2010 “ráfaga promedio de 3s”). (El factor de aumento es de 1.285).
- El Manual ASCE N° 74-2010 y la Norma NCh 432-2010 tienen la misma definición de Zonas de Rugosidad y la misma definición de velocidad de viento base, que corresponde a **ráfaga promedio de 3 segundos**.
- La norma IEC 60826 mantiene desde su origen (1985), la definición de Zonas de Rugosidad y la definición de velocidad de viento base, que corresponde al **promedio de 10 minutos**.
- La definición de Zonas de Rugosidad es en general la misma entre la IEC 60826-2003 y la ASCE Manual N° 74-2010, lo que cambia es la “letra nombre” que las identifica.

SECCIÓN 3

Fuerza de viento sobre cualquier elemento



3.1. FUERZA DE VIENTO

¿De qué depende?

- De la velocidad de **viento base V_0** .
- De un factor de conversión de energía cinética a energía potencial de presión. Depende de la **densidad de aire y la temperatura**.
- De la **altura** sobre el nivel del suelo donde se encuentra el elemento expuesto al viento.
- De la **condición topográfica** particular donde se encuentra el elemento.
- De la **rugosidad** de la zona donde se encuentra el elemento.
- De la relación entre la velocidad de viento y la **ráfaga** de viento.
- De la **forma de la superficie** del elemento expuesta al viento.
- Del **área de la superficie** del elemento expuesta al viento.

3.2. FUERZA DE VIENTO F_z

$$F_z = Q * K_z * K_{zt} * V_0^2 * G * C_f * A$$

Donde:

- **F_z** = fuerza de viento a la altura Z respecto del nivel de suelo.
- **Q** = factor de conversión de energía cinética a energía potencial de presión.
- **K_z** = factor de amplificación en altura. Depende de la Zona de Exposición y de como se mide el Viento Base.
- **K_{zt}** = factor topográfico.
- **V_0** = velocidad de Viento Base para un periodo de retorno de 50 años.
- **G** = factor de ráfaga.
- **C_f** = factor de forma correspondiente a la superficie del elemento expuesta directamente al viento.
- **A** = área proyectada del elemento expuesta directamente al viento.

$$F_Z = Q * K_Z * K_{Zt} * V_o^2 * G * C_f * A$$

$$\frac{F_Z}{A} = q_z = K_Z * K_{Zt} * G * C_f * (Q * V_o^2)$$

$$\frac{F_Z}{A} = q_z = K_Z * K_{Zt} * G * C_f * q_o$$

Donde:

- $q_z = \frac{F_z}{A}$ Presión de viento a la altura Z respecto del nivel de suelo.
- $q_o = Q * V_o^2$ Presión de viento base.

3.3. PRESIÓN DE VIENTO BASE q_o

$$q = Q * V^2 = \frac{1}{2} * \rho * V^2 \quad q_o = \frac{1}{2} * \rho * V_o^2$$

Donde:

- q = presión de viento debido a la velocidad de viento V
- ρ = densidad del aire.
- q_o = presión de viento base debido a la velocidad de viento base V_o

$$q_o \left[\frac{N}{m^2} \right] = \frac{1}{2} * \rho [kg/m^3] * V_o^2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$q_o \left[\frac{kg}{m^2} \right] = \tau * 0.0625 * V_o^2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Donde:

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ densidad del aire a 15°C a nivel del mar

$$\tau = \frac{288}{273+T^\circ} * e^{-1.2*10^{-4}*H}$$
 Factor de corrección de la densidad del aire

T° = temperatura ambiente en grados Celsius

H = altura en metros sobre el nivel del mar

Tabla 5 – Factor de correlación τ debido a la altitud y la temperatura
 Norma IEC 60826-2003

Temperatura	Altura Geográfica (msnm)			
	0	1000	2000	3000
30°C	0.95	0.84	0.75	0.66
15°C	1.00	0.89	0.79	0.69
0°C	1.04	0.94	0.83	0.73
-15°C	1.12	0.99	0.88	0.77
-30 °C	1.19	1.05	0.93	0.82

Nota: Valor de referencia corresponde a 0 msnm y a 15°C

$$q_o = \tau * 0.0625 * V_o^2 \quad q_o = \tau * \frac{V_o^2}{16} \quad \begin{matrix} q_o \text{ [Kg/m}^2\text{]} \\ V_o \text{ [m/s]} \end{matrix}$$

Comentarios generales a $q = V^2/16$

- Expresión generalmente utilizada por diseñadores de líneas T&D aéreas para relacionar presión de viento de diseño de conductor según NSEG 5 E.n 71 para Zona II y Zona III, con velocidad de viento:

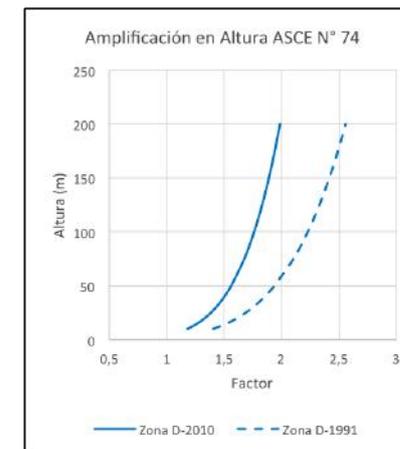
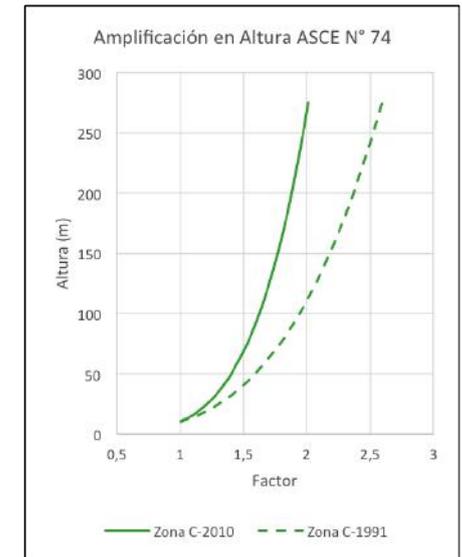
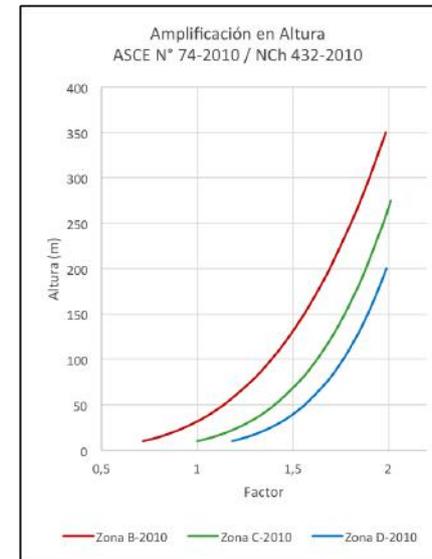
$$\begin{aligned} \text{Zona II:} \quad Q_{II} &= 50 \text{ Kg/m}^2 \quad \Rightarrow \quad V_{II} = 28 \text{ m/s} = 102 \text{ Km/hr} \\ \text{Zona III:} \quad Q_{III} &= 40 \text{ Kg/m}^2 \quad \Rightarrow \quad V_{III} = 25 \text{ m/s} = 91 \text{ Km/hr} \end{aligned}$$

- Velocidades de viento así obtenidas usualmente son relacionadas con velocidades reportadas en algún registro meteorológico.
- Principales errores conceptuales en ambas relaciones:
 - ✓ Relaciona velocidad de viento en el conductor (altura, K_z) con velocidad de viento de registro (a 10 metros).
 - ✓ No considera los factores de ráfaga (G) ni de forma (C_f) que corresponde.

3.4. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN EN ALTURA: K_z u Otro

- Depende de la rugosidad del terreno (zona de exposición).
- Depende de la manera en que se mide el viento base V_o .

ASCE N°74-2010: K_z es amplificación a la presión de viento
 ASCE N°74-1991: Z_v es amplificación a la velocidad de viento
 Z_v es amplificación a la presión de viento



Zona	ASCE N° 74			IEC 60826-2003	
	Z_g (m)	α	α_1	K_R	α_2
C	274.32	9.5 ($2/\alpha = 0.21$)	7.0 ($1/\alpha_1 = 0.14$)	1.00	0.16 (B)
D	213.36	11.5 ($2/\alpha = 0.17$)	10.0 ($1/\alpha_1 = 0.10$)	1.08	0.10 a 0.12 (A)

Donde:

- $Z =$ Altura [m] donde se requiere calcular el viento
- $Z_g =$ Altura nominal [m] de la capa límite atmosférica.
- $K_R =$ Factor de conversión viento desde Zona B Norma IEC 60826-2003
- $\alpha, \alpha_1, \alpha_2 =$ Exponente de la ley de potencia de la velocidad de ráfaga promedio de 3 segundos, de la "fastest mile wind speed" o de la velocidad media de 10 minutos según corresponda
- $Z_g, K_R, \alpha, \alpha_1, \alpha_2$ Dependen de la rugosidad del terreno.

**ASCE N° 74-2010
NCh 432-2010**

$$K_z = 2.01 * \left(\frac{Z}{Z_g}\right)^{2/\alpha}$$

ASCE N° 74-1991

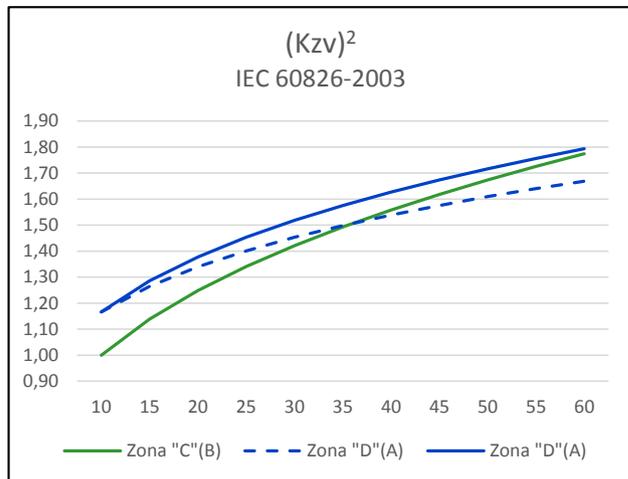
$$Z_v = 1.61 * \left(\frac{Z}{Z_g}\right)^{\frac{1}{\alpha_1}}$$

IEC 60826-2003

$$K_{zv} = K_R * \left(\frac{Z}{10}\right)^{\alpha_2}$$

Comentarios:

- ASCE N° 74-1991: Z_v es amplificación a la velocidad básica V_0 ("milla más rápida").
- IEC 60826-2003: K_{zv} es amplificación a la velocidad básica V_0 (promedio de 10 minutos).
- ASCE N° 74-2010 y NCh 432-2010: K_z es amplificación a la presión básica q_0 (para viento V_0 de ráfaga promedio de 3 segundos).



Kz factor de amplificación a la presión de viento
 Kzv factor de amplificación a la velocidad de viento
 Kzv² factor de amplificación a la presión de viento

3.4.1 Caso Particular: Z (altura) para líneas de transporte de energía

ASCE N° 74-2010:

- Z para Conductor:
 - ✓ Para conductor: depende del balanceo del conductor y el aislador.
 - ✓ Para diseño de la estructura (**Cuadro de Cargas**): Altura promedio de los conductores (y cable de guardia) en la estructura.

IEC 60826-2003:

- Z para Conductor:
 - ✓ Para conductor: centro de gravedad del conductor suspendido teóricamente localizado en el tercio inferior de la flecha.
 - ✓ Para diseño de la estructura (**Cuadro de Cargas**): Altura de los conductores en la estructura; para doble circuito considerar fase media.
- Z para **viento en Estructura**:
 - ✓ Subdividir en secciones y aplicarlo en el centro de cada sección.
 - ✓ Para estructuras hasta 60 metros, se puede considerar 2/3 Ht, donde Ht es la altura total de la estructura.

Z para **viento en Estructura**:

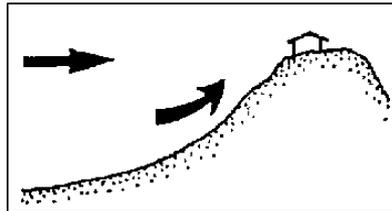
- ✓ Subdividir en secciones y aplicarlo en el centro de cada sección.

3.5. FACTOR TOPOGRÁFICO K_{zt}

3.5.1 Definición NCh 432-2010

Factor que considera la aceleración de viento según condiciones locales debido a cambios abruptos en la topografía del terreno, tales como colinas, cimas y escarpes:

$$K_{zt} = (1 + K_1 * K_2 * K_3)^2$$

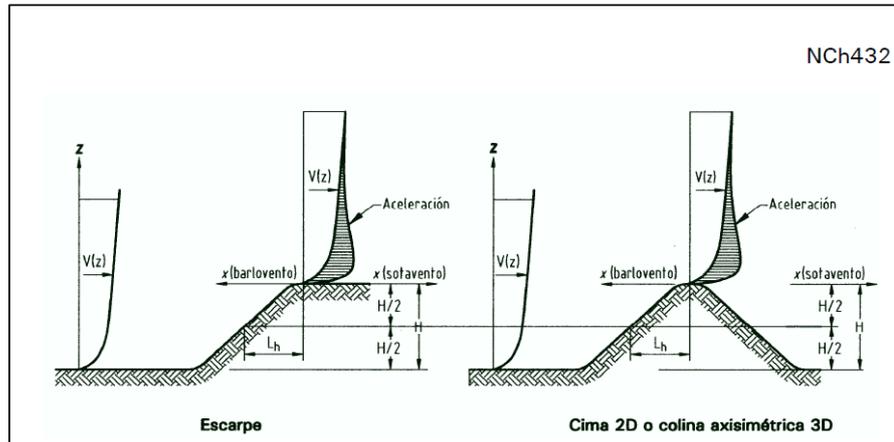


Donde:

K_1 = factor que representa la forma del rasgo topográfico y el efecto de incremento de velocidad.

K_2 = factor que representa la reducción del incremento de velocidad con la distancia a la cima, para barlovento o sotavento.

K_3 = factor que representa la reducción del incremento de velocidad con la altura sobre el terreno local.

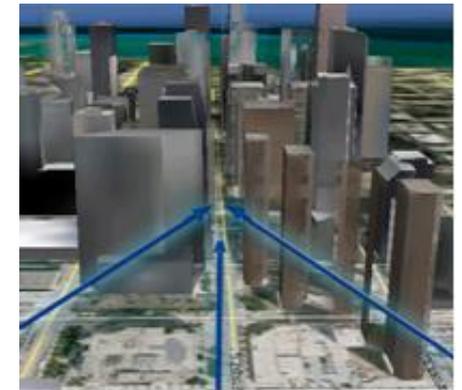
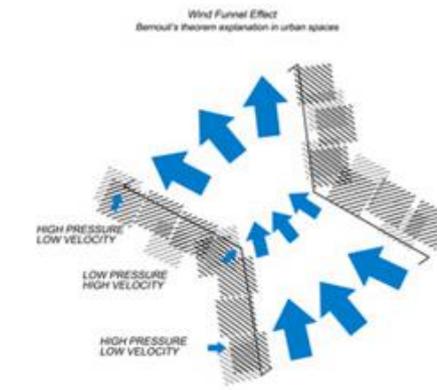
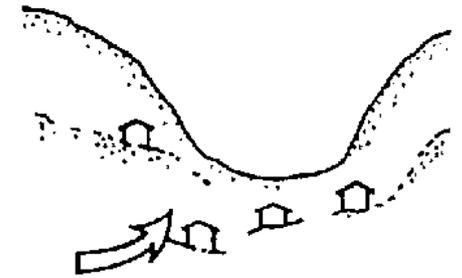
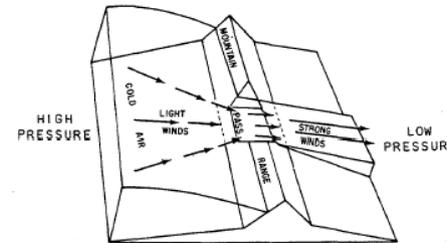


3.5.2 Norma ASCE N° 74

Se deben considerar las influencias topográficas que afectan las velocidades de viento en las líneas de transporte de energía, tales como:

- Zonas de estrechamientos (embudos) de viento (“funneling of winds”)
- Montañas
- Colinas, cimas y escarpes

3.5.3 Ejemplos de Zonas de Estrechamientos de Viento (“funneling of winds”)



3.5.4 Comentarios al Factor K_{zt}

- La IEC 60826-2003 no define este factor.
- La ASCE N° 74 señala que se deben analizar zonas particulares de viento como las zonas de estrechamientos (embudos) de viento, zonas de montaña y zonas de “laderas”. Para las zonas de “laderas” (colinas, cimas y escarpes) define parámetros de cálculo, los que son los mismos definidos en la NCh 432-2010.
- La NCh 432-2010 define parámetros para las zonas de “ladera” que son los mismos señalados en la ASCE N° 74-2010 y además señala que se deben estudiar terrenos montañosos, desfiladeros y regiones especiales para condiciones inusuales de viento.
- De las tres normas señaladas, la ASCE N° 74-2010 es la más completa en su definición.

3.6. FACTOR DE EFECTO DE RÁFAGA G

- Ráfaga: aumento repentino en la velocidad del viento durante un tiempo corto.
- Factor de Ráfaga:
 - ✓ Toma en cuenta los efectos dinámicos del viento sobre el elemento.
 - ✓ Depende de la **rugosidad** del terreno.
 - ✓ Depende de cómo fue medido el viento base.

3.6.1 Caso Particular: Líneas de Transporte de Energía

- Para el conductor depende de la longitud del vano y de la altura donde se encuentra el conductor; para la estructura de soporte depende de la altura de la estructura.
- Norma NCh 432-2010 no define parámetros para líneas de transmisión/distribución.
- ASCE N° 74 y IEC 60826 son las que corresponde utilizar por ser específicas para líneas de transporte de energía.

3.6.2 Factor de Ráfaga ASCE N° 74-2010

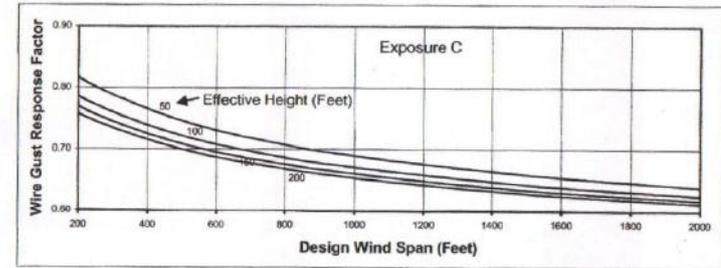


Figure 2-5. Wire gust response factor, Exposure C. Gw para conductor

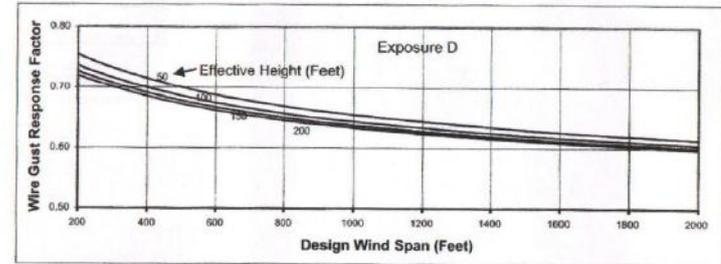


Figure 2-6. Wire gust response factor, Exposure D. Gw para conductor

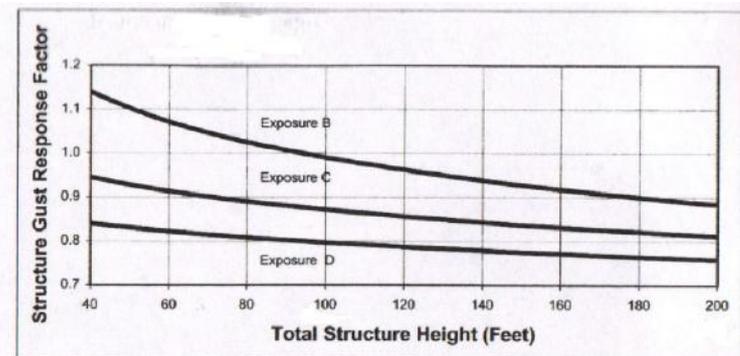


Figure 2-7. Structure gust response factor. Gt para estructura

3.6.3 Factor de Ráfaga IEC 60826-2003

GC * GL para conductor

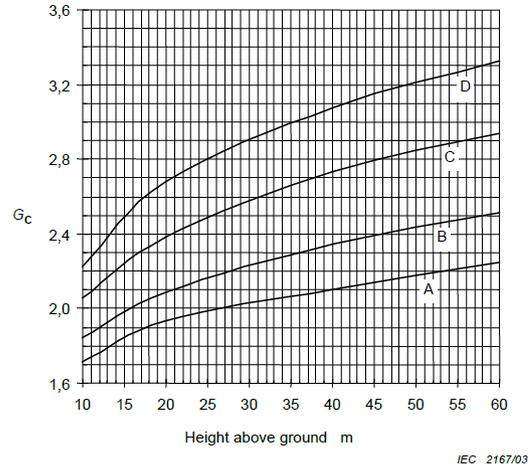


Figure 3 – Combined wind factor G_c for conductors for various terrain categories and heights above ground

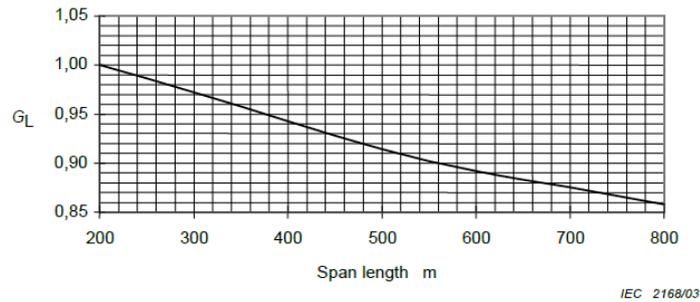


Figure 4 – Span factor G_L

Gt: para estructura

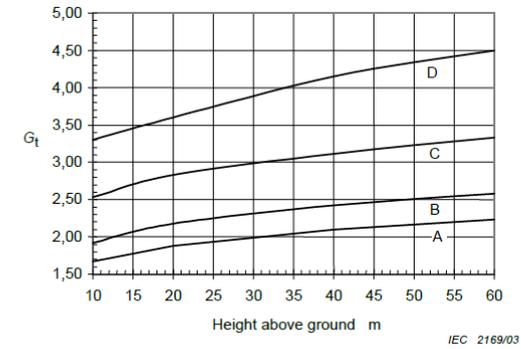


Figure 5 – combined wind factor G_t applicable to supports and insulator strings

Warning:

IEC 60826-2003 tiene incorporado en G_c y G_t la amplificación por altura de viento base a 10 metros (K_{zv} de la fórmula de punto 3.4)

3.6.4 Comparación Factor de Ráfaga ASCE N° 74-2010 y IEC 60826-2003

Zona	ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
	Gw	Gt	$G_c * G_L$	Gt
C (B)	0.71 a 0.61	0.9 a 0.81	2.09 a 2.22	2.15 a 2.6
D (A)	0.68 a 0.60	0.81 a 0.76	1.91 a 2.0	1.85 a 2.14

Valores para vanos entre 200 y 600 metros
 Valores para estructuras entre 20 y 60 metros

ASCE N° 74-2010:

- Viento Base es ráfaga promedio de 3s
- Gw disminuye con la altura y el vano
- Gt disminuye con la altura
- Se debe incorporar amplificación por altura Kz para obtener presión de viento

IEC 60826-2003:

- Viento Base es promedio de 10m
- Gc aumenta con la altura
- GL disminuye con el vano
- Gc*GL aumenta con la altura y el vano
- Gt aumenta con la altura
- Gc y Gt tienen incorporado amplificación de velocidad de viento por altura Kzv (no se debe incorporar aparte)

3.7. FACTOR DE FORMA Cf

Depende de la forma de la superficie expuesta directamente al viento.

3.7.1 Caso Particular: Líneas de Transporte de Energía

- $Cf_w = 1$ para conductor (ASCE N° 74 y IEC 60826-2003)
- Cf_t depende de la forma de la estructura de soporte:
 - ✓ Estructura reticulada de perfiles planos (ejemplo: ángulos)
 - ✓ Estructura reticulada de perfiles redondos (usualmente en torres de antenas)
 - ✓ Estructura de sección circular
 - ✓ Estructura de sección poligonal (depende también del N° de lados)
 - ✓ Estructura de sección llena (ejemplo postes de hormigón)

ASCE Manual N° 74-2010

Table 2-4. Force Coefficients, C_f , for Normal Wind on Latticed Truss Structures Having Flat-Sided Members

Solidity Ratio, Φ	Force Coefficient, C_f^a	
	Square-Section Structures	Triangular-Section Structures
<0.025	4.0	3.6
0.025-0.44	4.1 - 5.2 Φ	3.7 - 4.5 Φ
0.45-0.69	1.8	1.7
0.70-1.00	1.3 + 0.7 Φ	1.0 + Φ

Source: "Minimum design loads for buildings and other structures." ASCE 7-88 (revision of ANSI A58. 1-1982).

^a C_f values account for both the windward and leeward faces, including shielding of the leeward face.

Table 2-5. Correction Factors for Normal Wind on Round-Section Members in Latticed Truss Structures

Solidity Ratio, Φ	Correction Factor
<0.30	0.67
0.30-0.79	0.67 Φ + 0.47
0.80-1.00	1.00

Source: "Guide for design of steel transmission towers." (ASCE 1988).

$\Phi = A_m/A_o$

A_m = área real expuesta

A_o = área bruta o llena

ASCE Manual N° 74-2010

Table 2-6. Member Force Coefficients

Member Shape	Force Coefficient, C_f	Adapted From
Circular	0.9	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)
16-sided polygonal	0.9	James (1976)
12-sided polygonal	1.0	James (1976)
8-sided polygonal	1.4	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005), James (1976)
6-sided polygonal	1.4	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)
Square, rectangle	2.0	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)

IEC 60826-2003

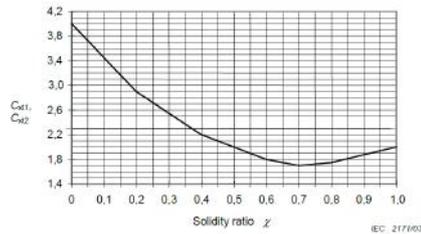


Figure 7 – Drag coefficient C_{xt} for lattice supports made of flat sided members

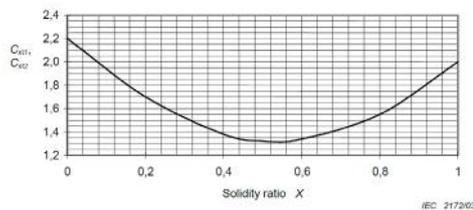


Figure 8 – Drag coefficient C_{xt} for lattice supports made of rounded members

IEC 60826-2003

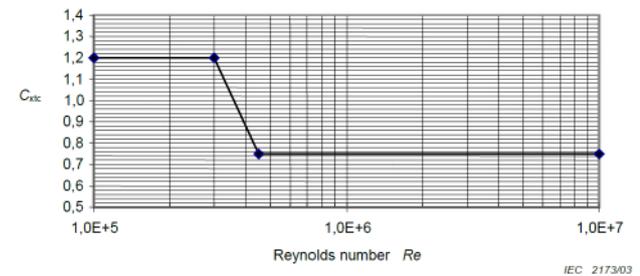


Figure 9 – Drag coefficient C_{xtc} of cylindrical elements having a large diameter

3.8. COMENTARIOS AL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN/DISTRIBUCIÓN

- Líneas con haz de conductores:
 - ✓ Viento en todos los conductores del haz
 - ✓ No hay reducción de la superficie expuesta (no hay "apantallamiento")
- Cálculo de la altura promedio según ASCE N° 74-2010 para diseño estructura:
 - ✓ Todos los conductores y subconductores según corresponda +
Todos los cables de guardia según corresponda
- Cálculo de la altura promedio según IEC 60826-2003 para diseño estructura:
 - ✓ Disposición horizontal: altura de los conductores en estructura
 - ✓ Disposición vertical: altura de la fase media en la estructura

3.9. PRINCIPALES CONCLUSIONES RELACIONADAS CON NSEG 5

- No hay razones para suponer que la presión de viento en conductor considera un factor de forma distinto de $C_f = 1$
- Si $C_f = 1$ para conductor, la presión de viento en estructuras considera implícitamente los siguientes factores de forma con respecto a la presión de viento definida para conductor:
 - ✓ $C_f = 1.0$ para estructuras circulares de diámetro menor a 50 cm
 - ✓ $C_f = 1.2$ para estructuras circulares de diámetro mayor a 50 cm
 - ✓ $C_f = 2.0$ para superficies planas golpeadas perpendicularmente
 - ✓ $C_f = 4.0$ para estructuras enrejadas (área expuesta de 1 cara)
- Hay razones para suponer que considera la misma altura de conductor para la determinación de la presión de viento en conductor y en la estructura (numeral 3.4.1 en Sección 3).
- No hay razones para suponer C_f distinto de 1 para la presión de viento en los aisladores (diámetro menor a 50 cm); sin embargo muchos diseños han considerado presiones de viento mayores, correspondientes a un $C_f = 1.2$
- La presión de viento definida no señala limitaciones de altura de conductor/ estructura.

SECCIÓN 4

Ejemplos numéricos



4.1. CÁLCULO PRESIÓN DE VIENTO DADO V_0

Datos

Vo	100 km/hr	Zona C + ráfaga 3 segundos
Cota	0 msnm	Altura geográfica
T°	15 °C	T° media
τ	1	Factor corrección densidad del aire
Cf	1	Factor de Forma conductor

Línea en Zona III NSEG 5 E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona III NSEG 5 = Zona C		Vo en Zona B Línea Zona III NSEG 5 = Zona B	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.42 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona III)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona III)
Hcond/estr	15 m POSTE H18	Hcond/estr	15 m POSTE H18
Vano	200 m	Vano	200 m
Gw	0.72	Gc	1.99 Figura 3
Kz	1.09	GL	1.00 Figura 4
		Kr	1.00 Tabla 4
qz	37.8 kg/m ²	qz	47.0 kg/m ²
NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)

Línea en Zona II NSEG 5 E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona II NSEG 5 = Zona D		Vo en Zona B Línea Zona II NSEG 5 = Zona A	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.43 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona II)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona II)
Hcond/estr	15 m POSTE H18	Hcond/estr	15 m POSTE H18
Vano	200 m	Vano	200 m
Gw	0.68	Gc	1.84 Figura 3
Kz	1.27	GL	1.00 Figura 4
		Kr	1.08 Tabla 4
qz	41.6 kg/m ²	qz	50.6 kg/m ²
NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)	NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)

Datos

Vo	100 km/hr	Zona C + ráfaga 3 segundos
Cota	0 msnm	Altura geográfica
T°	15 °C	T° media
τ	1	Factor corrección densidad del aire
Cf	1	Factor de Forma conductor

Línea en Zona III NSEG 5 E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona III NSEG 5 = Zona C		Vo en Zona B Línea Zona III NSEG 5 = Zona B	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.42 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona III)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona III)
Hcond/estr	30 m	Hcond/estr	30 m
Vano	200 m	Vano	200 m
Gw	0.70	Gc	2.25 Figura 3
Kz	1.26	GL	1.00 Figura 4
		Kr	1.00 Tabla 4
qz	42.5 kg/m ²	qz	53.1 kg/m ²
NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)

Línea en Zona II NSEG 5 E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona II NSEG 5 = Zona D		Vo en Zona B Línea Zona II NSEG 5 = Zona A	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.43 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona II)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona II)
Hcond/estr	30 m	Hcond/estr	30 m
Vano	200 m	Vano	200 m
Gw	0.67	Gc	2.04 Figura 3
Kz	1.43	GL	1.00 Figura 4
		Kr	1.08 Tabla 4
qz	46.2 kg/m ²	qz	56.2 kg/m ²
NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)	NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)

CÁLCULO PRESIÓN DE VIENTO DADO V_0

Datos

V_0	100 km/hr	Zona C + ráfaga 3 segundos
Cota	0 msnm	Altura geográfica
T°	15 °C	T° media
τ	1	Factor corrección densidad del aire
Cf	1	Factor de Forma conductor

Línea en Zona III NSEG 5E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona III NSEG 5 = Zona C		Vo en Zona B Línea Zona III NSEG 5 = Zona B	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.42 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona III)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona III)
Hcond/estr	30 m	Hcond/estr	30 m
Vano	400 m	Vano	400 m
Gw	0.65	Gc	2.25 Figura 3
Kz	1.26	GL	0.95 Figura 4
		Kr	1.00 Tabla 4
qz	39.5 kg/m ²	qz	50.4 kg/m ²
NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)

Línea en Zona II NSEG 5E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona II NSEG 5 = Zona D		Vo en Zona B Línea Zona II NSEG 5 = Zona A	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.43 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona II)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona II)
Hcond/estr	30 m	Hcond/estr	30 m
Vano	400 m	Vano	400 m
Gw	0.63	Gc	2.04 Figura 3
Kz	1.43	GL	0.95 Figura 4
		Kr	1.08 Tabla 4
qz	43.4 kg/m ²	qz	53.3 kg/m ²
NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)	NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)

Datos

V_0	100 km/hr	Zona C + ráfaga 3 segundos
Cota	0 msnm	Altura geográfica
T°	15 °C	T° media
τ	1	Factor corrección densidad del aire
Cf	1	Factor de Forma conductor

Línea en Zona III NSEG 5E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona III NSEG 5 = Zona C		Vo en Zona B Línea Zona III NSEG 5 = Zona B	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.42 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona III)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona III)
Hcond/estr	50 m	Hcond/estr	50 m
Vano	400 m	Vano	400 m
Gw	0.64	Gc	2.44 Figura 3
Kz	1.40	GL	0.95 Figura 4
		Kr	1.00 Tabla 4
qz	43.2 kg/m ²	qz	54.7 kg/m ²
NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40 kg/m ² (Zona III)

Línea en Zona II NSEG 5E.n 71

ASCE N° 74-2010		IEC 60826-2003	
Vo en Zona C Línea Zona II NSEG 5 = Zona D		Vo en Zona B Línea Zona II NSEG 5 = Zona A	
Vo (3s)	100 km/hr	Vo (10m)	69.9 km/hr
Vo (3s)	27.78 m/s	Vo (10m)	19.43 m/s
qo (3s)	48.2 kg/m ² (Zona II)	qo (10m)	23.6 kg/m ² (Zona II)
Hcond/estr	50 m	Hcond/estr	50 m
Vano	400 m	Vano	400 m
Gw	0.62	Gc	2.19 Figura 3
Kz	1.56	GL	0.95 Figura 4
		Kr	1.08 Tabla 4
qz	46.6 kg/m ²	qz	57.3 kg/m ²
NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)	NSEG 5	50 kg/m ² (Zona II)

CÁLCULO PRESIÓN DE VIENTO DADO V_0

Primeras conclusiones:

- Se requiere conocer a que Zona de Rugosidad y bajo que condiciones de medición corresponde la velocidad V_0 .
- Para una velocidad V_0 equivalente según cada norma, la presión de viento en conductor es mayor si se utiliza la Norma IEC 60826-2003 que si se utiliza ASCE Manual N° 74-2010. La diferencia es del orden de 10 kg/m², que equivale a un 25% con respecto a la presión de viento que se obtiene con ASCE Manual N° 74-2010 (calculado con factor de 1.43; diferencia aumenta a 27% si se usa 1.38).
- La presión de viento en conductor disminuye con la altura topográfica. Entre 0 y 1.000 msnm la variación es hasta 11% (porque la densidad del aire disminuye en la misma proporción y su efecto es en la presión de viento y no en la velocidad).
- A igual altura de conductores, la presión de viento en conductor disminuye al aumentar el vano. Entre 200 y 400 metros, la variación es hasta 7% según ASCE Manual N° 74-2010 y hasta 6% según IEC 60826-2003.
- A igual vano, la presión de viento en conductor aumenta al aumentar la altura de ubicación de los conductores. Entre 30 y 50 metros (altura promedio en la estructura), la variación es hasta 10% en ambas normas.
- Al aumentar la altura y disminuir el vano (posible caso de cruce en altura), la presión de viento en conductores aumenta por ambas razones.

4.2. CÁLCULO DE V_0 DADA LA PRESIÓN DE VIENTO EN CONDUCTOR NSEG 5

Cálculo según ASCE Manual N° 74-2010

Ejemplos 1 a 6 siguientes:

- Se analizan 15°C y 20°C para Cota 0 msnm
- Se analizan 15°C para cota de 0 – 200 – 800 – 1.000 msnm

Parámetro	Ejemplo 1 Poste H18	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4	Ejemplo 5	Ejemplo 6
Altura estructura a Cruceta Inferior	15 m	12.5 m	15 m	20 m	25 m	30 m
Distancia entre Fases Doble Circuito Vertical	0 m	2.0 m	3.0 m	4.5 m	5.5 m	9.5 m
Altura Conductor (promedio estructura)	15 m	14.5 m	20 m	25 m	32 m	42 m
Altura estructura con canastillo	15 m (sin canastillo)	16.5 m (sin canastillo)	25 m	30 m	43 m	57.5 m
Vano	200 m	200 m	250 m	300 m	400 m	450 m
Nivel de Tensión equivalente	Desde Distribución a 220 kV	66 kV	110 kV	154 kV	220 kV	500 kV

CÁLCULO DE V_0 DADA LA PRESIÓN DE VIENTO EN CONDUCTOR NSEG 5

Cálculo según ASCE Manual N° 74-2010

Ejemplo1:

Ejemplo 1 POSTE H18	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	15		15		15		15		15	
Vano Medio (m)	200		200		200		200		200	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68
Kz	1.090	1.267	1.090	1.267	1.090	1.267	1.090	1.267	1.090	1.267
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m2)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m2)	51.0	58.0	51.0	58.0	51.0	58.0	51.0	58.0	51.0	58.0
Vo (km/hr) (3s)	103	110	104	111	104	111	108	115	109	116

Ejemplo2:

Ejemplo 2 Línea 2x66 kV	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	14.5		14.5		14.5		14.5		14.5	
Vano Medio (m)	200		200		200		200		200	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68	0.72	0.68
Kz	1.082	1.259	1.082	1.259	1.082	1.259	1.082	1.259	1.082	1.259
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m2)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m2)	51.3	58.4	51.3	58.4	51.3	58.4	51.3	58.4	51.3	58.4
Vo (km/hr) (3s)	103	110	104	111	104	111	108	115	110	117

Ejemplo 3:

Ejemplo 3 Línea 2x110 kV	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	20		20		20		20		20	
Vano Medio (m)	250		250		250		250		250	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.70	0.66	0.70	0.66	0.70	0.66	0.70	0.66	0.70	0.66
Kz	1.158	1.332	1.158	1.332	1.158	1.332	1.158	1.332	1.158	1.332
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	49.3	56.9	49.3	56.9	49.3	56.9	49.3	56.9	49.3	56.9
Vo (km/hr)	101	109	102	110	102	110	106	114	107	115

Ejemplo 4:

Ejemplo 4 Línea 2x154 kV	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	25		25		25		25		25	
Vano Medio (m)	300		300		300		300		300	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.68	0.65	0.68	0.65	0.68	0.65	0.68	0.65	0.68	0.65
Kz	1.214	1.384	1.214	1.384	1.214	1.384	1.214	1.384	1.214	1.384
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	48.5	55.6	48.5	55.6	48.5	55.6	48.5	55.6	48.5	55.6
Vo (km/hr)	100	107	101	108	101	109	105	113	106	114

Ejemplo 5:

Ejemplo 5 Línea 2x220 kV	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	32		32		32		32		32	
Vano Medio (m)	400		400		400		400		400	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63
Kz	1.279	1.445	1.279	1.445	1.279	1.445	1.279	1.445	1.279	1.445
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	48.1	54.9	48.1	54.9	48.1	54.9	48.1	54.9	48.1	54.9
Vo (km/hr)	100	107	101	108	101	108	105	112	106	113

Ejemplo 6:

Ejemplo 6 Línea 2x500 kV	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	42		42		42		42		42	
Vano Medio (m)	450		450		450		450		450	
Cota (msnm)	0		0		200		800		1000	
T° (°C)	15		20		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.983	0.983	0.976	0.976	0.908	0.908	0.887	0.887
Gw	0.64	0.62	0.64	0.62	0.64	0.62	0.64	0.62	0.64	0.62
Kz	1.354	1.515	1.354	1.515	1.354	1.515	1.354	1.515	1.354	1.515
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	46.2	53.2	46.2	53.2	46.2	53.2	46.2	53.2	46.2	53.2
Vo (km/hr)	98	105	99	106	99	106	103	110	104	112

Ejemplo 7: solo variación de vano

Ejemplo 7	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	30		30		30		30		30	
Vano Medio (m)	300		350		400		450		500	
Cota (msnm)	0		0		0		0		0	
T° (°C)	15		15		15		15		15	
τ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Gw	0.67	0.64	0.66	0.64	0.65	0.63	0.64	0.62	0.64	0.62
Kz	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	47.3	54.7	48.1	54.7	48.8	55.5	49.6	56.4	49.6	56.4
Vo (km/hr)	99	106	100	106	101	107	101	108	101	108

Ejemplo 9: solo variación de cota (msnm)

Ejemplo 9	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	30		30		30		30		30	
Vano Medio (m)	400		400		400		400		400	
Cota (msnm)	0		800		1000		1500		2000	
T° (°C)	15		15		15		15		15	
τ	1.000	1.000	0.908	0.908	0.887	0.887	0.835	0.835	0.787	0.787
Gw	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.63
Kz	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429	1.261	1.429
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	48.8	55.5	48.8	55.5	48.8	55.5	48.8	55.5	48.8	55.5
Vo (km/hr)	101	107	106	113	107	114	110	117	113	121

Ejemplo 8: solo variación de altura

Ejemplo 8	NSEG 5									
	Zona III	Zona II								
H cond/estr (m)	30		40		50		75		100	
Vano Medio (m)	400		400		400		400		400	
Cota (msnm)	0		0		0		0		0	
T° (°C)	15		15		15		15		15	
τ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Gw	0.65	0.63	0.65	0.62	0.64	0.62	0.63	0.62	0.63	0.61
Kz	1.261	1.429	1.340	1.502	1.405	1.562	1.530	1.676	1.625	1.762
Cf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qz (kg/m ²)	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50
Qo (kg/m ²)	48.8	55.5	45.9	53.7	44.5	51.6	41.5	48.1	39.1	46.5
Vo (km/hr)	101	107	98	106	96	103	93	100	90	98

Primeras Conclusiones:

1. A una misma presión de viento, temperatura y cota, la velocidad de viento V_0 tiene poca variación al considerar la altura de estructura tipo y vano tipo según nivel de tensión hasta 220 kV (ejemplos 1 a 5)

Parámetro	Ejemplo 1 Poste H18		Ejemplo 2		Ejemplo 3		Ejemplo 4		Ejemplo 5	
Altura estructura Cruceta Inferior	15 m		12.5 m		15 m		20 m		25 m	
Distancia Entre Fases Doble Circuito Vertical	0 m		2.0 m		3.0 m		4.5 m		5.5 m	
Altura Conductor (promedio en la estr.)	15 m		14.5 m		20 m		25 m		32 m	
Altura estructura con canastillo	15 m (sin canastillo)		16.5 m (sin canastillo)		25 m		30 m		43 m	
Vano	200 m		200 m		250 m		300 m		400 m	
Nivel de Tensión equivalente	Desde Distribución hasta 220 kV		66 kV		110 kV		154 kV		220 kV	
Velocidad V_0 (km/hr) (10 m en 3 segundos) 15° C y 0 msnm	Zona III 103	Zona II 110	Zona III 103	Zona II 110	Zona III 101	Zona II 109	Zona III 100	Zona II 107	Zona III 100	Zona II 107

2. A una misma presión de viento, temperatura y cota, la velocidad de viento V_0 disminuye al considerar la altura de una estructura tipo para 500 kV con disposición vertical (ejemplo 6)

Parámetro	Ejemplo 3		Ejemplo 4		Ejemplo 5		Ejemplo 6	
Altura estructura Cruceta Inferior	15 m		20 m		25 m		30 m	
Distancia Entre Fases Doble Circuito Vertical	3.0 m		4.5 m		5.5 m		9.5 m	
Altura Conductor (promedio en la estr.)	20 m		25 m		32 m		42 m	
Altura estructura con canastillo	25 m		30 m		43 m		57.5 m	
Vano	250 m		300 m		400 m		450 m	
Nivel de Tensión equivalente	110 kV		154 kV		220 kV		500 kV	
Velocidad V_0 (km/hr) (10 m en 3 segundos) 15° C y 0 msnm	Zona III 101	Zona II 109	Zona III 100	Zona II 107	Zona III 100	Zona II 107	Zona III 98	Zona II 105

SECCIÓN 5

Conclusiones con respecto a la NSEG 5 E.n 71



- Conclusión 1** No es correcto relacionar directamente presiones de viento en conductor con velocidades de viento según registros.
- Conclusión 2** Presión de viento de NSEG 5 en conductor tiene incluido de manera implícita distintos factores.
- Conclusión 3** Presiones de viento NSEG 5 tiene asociado un rango de validez.
- Conclusión 4** Rango de validez de presiones de viento conductor NSEG 5 Zona II y Zona III
- Conclusión 5** No es posible definir en una norma o reglamento parámetros de viento (ni otros) de diseño para Zona I y Zona IV

- C1 No es correcto relacionar directamente presiones de viento en conductor con velocidades de viento según registros:**
- Ambas condiciones están a diferente altura Z (viento de registros es a 10 m).
 - “ $q = V^2/16$ ” es presión de viento a nivel del mar y a 15°C (tiene implícito un valor de densidad del aire).
 - Presión de viento en conductor depende también de su Factor de Forma (Cf) y de su Factor de Ráfaga (Gw).
- C1A Velocidad de Viento Base es un valor diferente según como se midió el registro**
- Registro según NCh 432-2010 en Chile y ASCE N° 74-2010 en EEUU: velocidad de ráfaga promedio de 3 segundos.
 - Registro según IEC 60826-2003 en Europa: velocidad promedio de 10 minutos.
 - Factor de conversión de velocidades de viento varía según norma.
 - ✓ ASCE: $V_{3s} = 1.43 * V_{10min}$ (Zona C)
 - ✓ IEC: $V_{3s} = 1.38 * V_{10min}$ (Zona B, equivalente a ASCE Zona C)

C2 Presión de viento de NSEG 5 en conductor tiene incluido de manera implícita

- Velocidad de viento base V_0 (a 10 metros).
- Altura de conductor sobre el nivel del suelo Z (relacionado con la altura de las estructuras).
- Longitud de vano.
- Zona de rugosidad.
- Viento base V_0 es distinto según zona (costa, valle, cordillera).

C2A Zona de Rugosidad implícita en NSEG 5

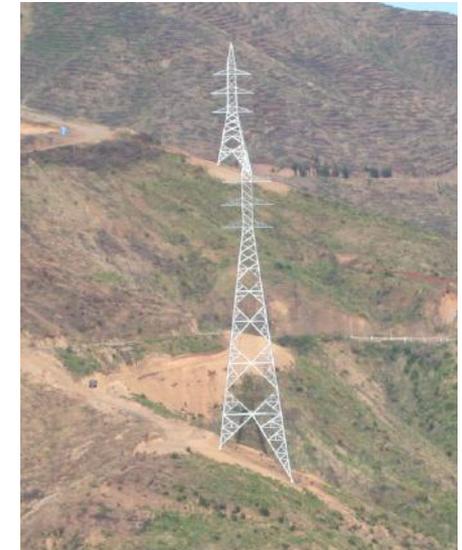
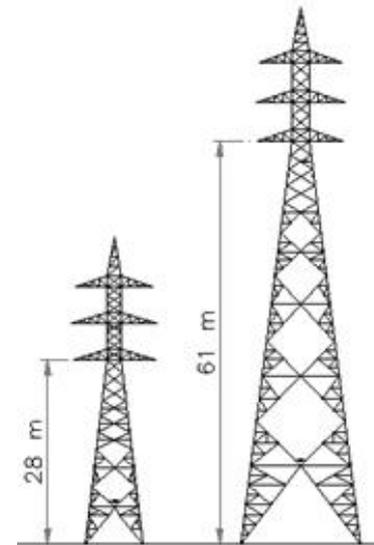
- Zona III sería en general equivalente a Zona C según ASCE Manual N° 74-2010.
- Zona II sería en general equivalente a Zona C o Zona D según ASCE Manual N° 74-2010, dependiendo de la cercanía de la línea a la costa.
- (Zonas B y A respectivamente según IEC 60826-2003).

C2B Presión de viento NSEG 5 en estructuras tiene incluido de manera implícita

- Que el parámetro de diseño es la presión de viento en conductor.
- Que la presión de viento sobre la estructura es la presión de viento en conductor corregida por el correspondiente factor de forma propio de la estructura.

C3 Presiones de viento NSEG 5 tienen asociado un rango de validez, es decir, no son necesariamente adecuadas para:

- Estructuras de cualquier altura
- Vanos de cualquier longitud
- Eventualmente en toda la longitud de la línea



C4 Rango de validez de presiones de viento conductor NSEG 5 Zona II y Zona III

	NSEG 5 E.n 71	
	Zona II	Zona III
Presión de Viento Diseño Conductor	50 kg/m ²	40 kg/m ²
Velocidad de Viento Base V_0 (a 10 m sobre nivel suelo medida en ráfaga promedio de 3 segundos)	105 a 115 km/hr 29 a 32 m/s	98 a 107 km/hr 27 a 30 m/s
Velocidad de Viento con Período de Retorno de 50 años	Probabilidad de excedencia 2% anual	
Altura Máxima de Estructura (hasta punta de canastillo)	Ht = 50 m	
Vano de Diseño	≤ 500 metros	
Altura Geográfica de la Línea	0 a 1.000 msnm	

Velocidad V_0 de acuerdo a valores obtenidos de Sección 4 Ejemplos Numéricos

- Presiones de Viento NSEG 5 E.n 71 definidas en 1955, fecha original de publicación.
- Buen comportamiento a la fecha de las líneas de transmisión/distribución diseñadas en Zona II y Zona III con los parámetros de diseño definidos en NSEG 5 E.n 71.
- La probabilidad de excedencia de 2%, correspondiente a un periodo de retorno de velocidad de viento de 50 años, es la misma que tienen definidas las normativas de viento internacionales, incluidas las que corresponden a diseño de líneas de transmisión.
- Los factores de seguridad que se definen para las solicitaciones de diseño consideran la incertidumbres en la solicitaciones:
 - ✓ Información es en base a estadísticas
 - ✓ Calidad de los registros de datos
 - ✓ Variabilidad de situaciones dentro del trazado
- Se deben analizar los vanos especiales de la línea, tales como:
 - ✓ Cruces sobre cuerpos de agua
 - ✓ Vanos largos
 - ✓ Vanos con estructuras altas
 - ✓ Vanos con condiciones topográficas especiales (Kzt)

C5 No es posible definir en una norma o reglamento parámetros de viento (ni otros) de diseño para Zona I y Zona IV

Diversidad de condiciones topográficas y meteorológicas al interior de cada una.



Montaña (Zona I)



Patagonia (Zona IV)



Desierto (Zona I)



Punta Arenas (Zona IV)

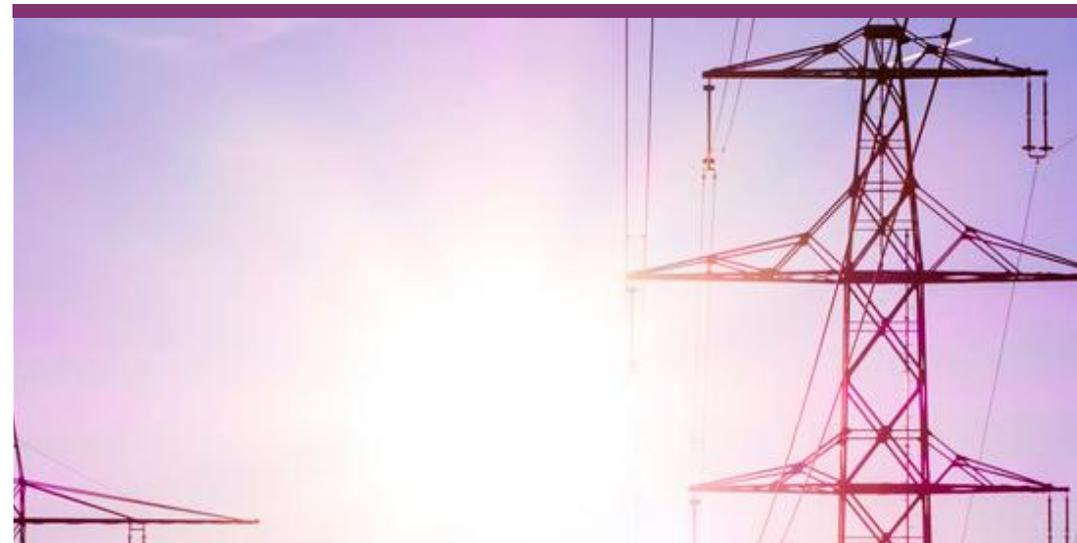
- Zona I y Zona IV tienen distintas microzonas con condiciones meteorológicas particulares.
- Comportamiento de líneas existentes en Zona I, diseñadas ya sea con las condiciones señaladas en la NSEG 5 o con condiciones mayores, ha sido variable: algunas han tenido buen comportamiento y otras no.
- Para cada proyecto se deben definir las condiciones meteorológicas para el diseño ya sea en base a la información disponible y/o a estudios necesarios a realizar.
- La definición de las condiciones meteorológicas para el diseño propiamente tal, así como la información necesaria para su determinación, deben ser definidas por un **profesional especialista en meteorología**.
- La información que se requiere para el diseño es al menos:
 - ✓ Viento máximo sin hielo
 - ✓ Hielo máximo sin viento
 - ✓ Combinación más probable de viento con hielo
 - ✓ Temperaturas mínimas y máximas
 - ✓ Temperatura media anual
 - ✓ Nivel cerámico

Propuesta de Nuevo Reglamento que estuvo en Consulta Pública por parte de la SEC en el 1er semestre de 2015 recoge algunas de estas conclusiones:

- Mantiene las presiones de viento en Zona II (50 kg/m²) y Zona III (40 kg/m²), pero definió que su rango de validez es para líneas con estructuras de soporte hasta 50 metros de altura total (hasta la punta del canastillo cable de guardia); sin embargo no señala cómo calcular las presiones de viento cuando las estructuras son de alturas mayores.
- Señala que para Zona I y Zona IV se deben determinar las condiciones meteorológicas de diseño.
- Para Zona I y Zona IV define cómo se deben hacer los estudios para la determinación de las condiciones meteorológicas de diseño, sin embargo es nuestra opinión que debe ser el profesional correspondiente (experto en meteorología) quien debe definir si se requiere o no un estudio y en tal caso cómo debe hacerse.
- Además:
 - ✓ Redefine algunas cotas y localidades para Zona I.
 - ✓ Incorpora que la tensión de conductor puede llegar al 70% de la Tensión de Rótura para zonas con hielo.
 - ✓ Define solicitaciones y factores de mayoración para zonas con hielo.

SECCIÓN 6

Análisis general NCh 432-2010 y su relación con líneas aéreas de transmisión/distribución



6.1. RAZÓN PARA INCLUIR NORMA NCh 432-2010 EN ESTA GUÍA

En el último tiempo se ha encontrado que algunos profesionales definen como criterio de diseño que las líneas de transmisión en Chile “deben diseñarse de acuerdo con la NCh 432-2010”:

- Criterios de diseño definidos por el Mandante hacia su ingeniería
- Observaciones de Revisores a los Criterios de Diseño de proyectos

6.2. ANÁLISIS GENERAL INFORMACIÓN NCh 432-2010

- El punto 7.4.1 define que la velocidad básica de viento “*debe ser estimada a partir de información climática regional, la cual no debe ser menor que la velocidad de viento asociada a la probabilidad anual de 0,02 (media de un intervalo de 50 años) y la estimación se debe ajustar a la equivalencia de la velocidad de ráfaga de 3 s a 10 m por sobre el terreno en exposición de campo abierto*”. También señala que el estudio debe abarcar un periodo no menos a 5 años.

Esta definición es equivalente a la señalada en Manual ASCE N° 74-2010, donde “terreno en exposición de campo abierto” corresponde a Zona de Rugosidad C.

- La Tabla 5 entrega registros de velocidad básica de viento para 24 estaciones dentro del país, lo cual es información estadística que se entiende corresponde a la definición del punto 7.4.1. El punto 7.4.2 señala que los valores de la Tabla 5 se pueden utilizar para “*zonas cercanas al lugar de medición, siempre que éstas no se encuentren en terrenos montañosos, desfiladeros o zonas especiales de viento*”.

- El punto 7.4.3 señala que en caso de no tener información estadística y no poder utilizarse la Tabla 5, “se puede utilizar la zonificación por paralelos establecida tanto en la Tabla 6 como por las Figuras 3 y 4”.
- El punto 7.4.4 señala que se deben estudiar terrenos montañosos, desfiladeros y regiones especiales para condiciones inusuales de viento.
- El punto 7.4.5 define un “Factor de direccionalidad del viento” K_d , que varía entre 0.85 y 0.95, el cual debe ser utilizado para las combinaciones de carga definidas en NCh 3171 (“Diseño Estructural – Disposiciones generales y combinaciones de carga”).
- Resto de la norma define coeficientes de diseño para estructuras tales como: edificios, techos abovedados, chimeneas y estanques, señaléticas, torres enrejadas sujetas con cables.
- No define coeficientes de diseño para líneas de transmisión/distribución de energía.

Figura 3 y Figura 4
Zonificación por velocidades de viento
zona centro-norte y zona centro-sur

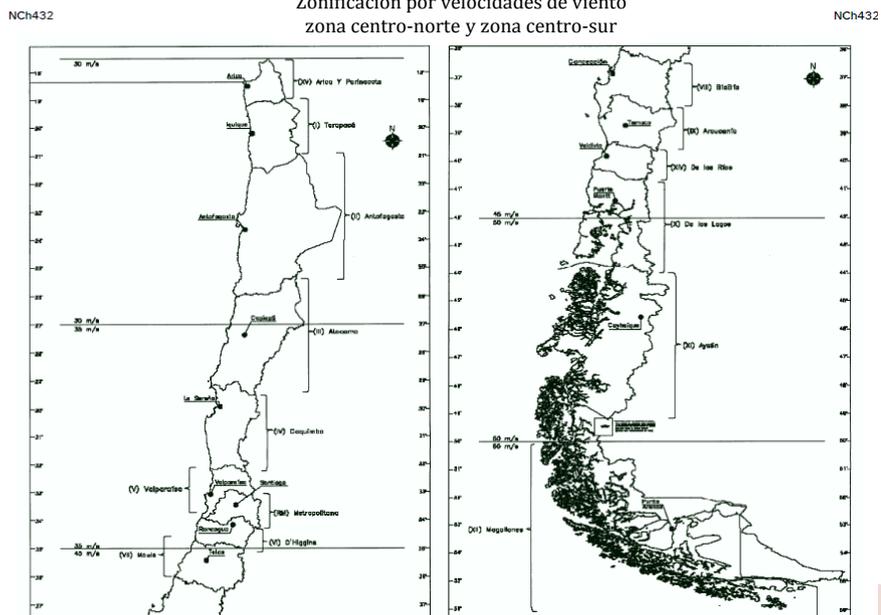


Tabla 6
Velocidad básica de viento
para distintas zonas del país

Latitud S	Velocidad básica m/s
17°29' - 27°	30
27° - 35°	35
35° - 42°	40
42° - 50°	50
50° - 56°32'	55

Tabla 5
Velocidad básica de viento para diferentes estaciones

Nº	Latitud S	Longitud O	Estación	V' m/s
1	18° 20'	70° 20'	Arica	23,0
2	20° 32'	70° 11'	Iquique	25,8
3	22° 27'	68° 55'	Calama	36,8
4	23° 26'	70° 26'	Antofagasta	24,3
5	29° 54'	71° 12'	La Serena	32,1
6	30° 14'	71° 38'	DGF-Lengua de Vaca	34,6
7	32° 08'	71° 31'	CENMA-Pichidangui	29,2
8	33° 23'	70° 47'	Pudahuel	30,3
9	33° 26'	70° 39'	Torre Entel	24,1
10	33° 27'	70° 31'	La Reina	22,4
11	33° 34'	70° 37'	La Platina	16,7
12	35° 13'	72° 17'	Putú	29,0
13	36° 46'	73° 03'	Concepción	40,0
14	36° 47'	73° 07'	ENAP-Bio Bio	43,5
15	38° 45'	72° 38'	Temuco	35,2
16	41° 26'	73° 07'	Puerto Montt	33,9
17	42° 55'	72° 43'	Chaitén	49,2
18,3	43° 10'	73° 43'	Quellón	49,7
19	43° 38'	71° 47'	Palena	38,2
20	45° 35'	71° 07'	Coyhaique	44,8
21	45° 54'	71° 72'	Balmaceda	47,6
22	46° 32'	71° 41'	Chile Chico	41,5
23	47° 14'	72° 55'	Cochrane	38,1
24	53° 00'	70° 51'	Punta Arenas	53,5

Estas velocidades han sido registradas principalmente en aeródromos y aeropuertos.

Comentarios a Tabla 5:

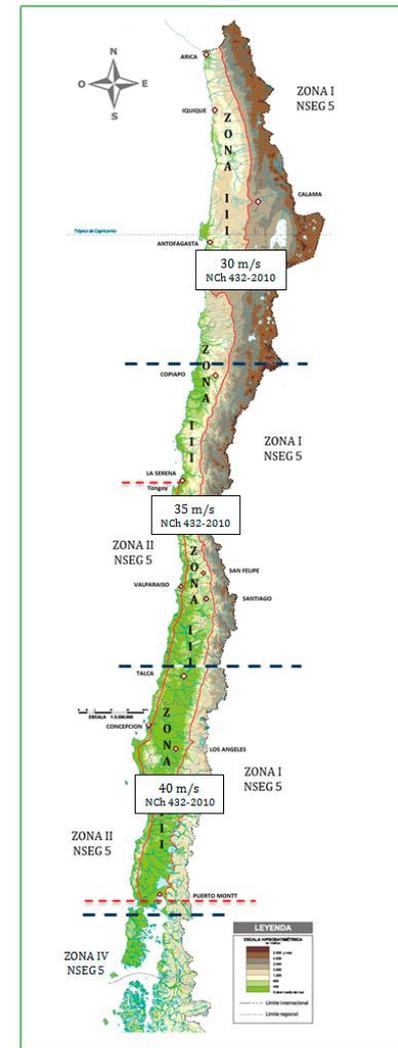
- Registros 1 a 16 son entre Arica y Puerto Montt (zona definida en NSEG 5 E.n 71):
 - ✓ 9 de los 16 registros son en la costa (Arica a Concepción)
 - ✓ 4 de los 16 registros son en Santiago
 - ✓ 1 es en Calama (altiplano)
 - ✓ 1 registro es en Temuco
 - ✓ 1 registro es en Puerto Montt
- No hay registros en zonas de precordillera y cordillera

Conclusiones preliminares

- La zonificación de viento es en el eje norte-sur. La zonificación de viento en la NSEG 5 es en el eje este-oeste, reconociendo adicionalmente dos zonas en el eje norte-sur.
- El alcance de la Norma NCh 432-2010 es para construcciones y no para líneas aéreas de redes eléctricas. Como no entrega parámetros de diseño para líneas aéreas de redes eléctricas, no corresponde señalar que las líneas de transmisión/distribución deben ser diseñadas con las disposiciones de la NCh 432-2010
- Solo sería rescatable para el diseño de líneas aéreas la información de estadísticas de viento de la Tabla 5 y eventualmente la zonificación señalada en la Tabla 6 y en los mapas de las Figuras 3 y 4.
- Como el diseño de las líneas de redes eléctricas se realiza con factores de mayoración y combinaciones de carga diferentes a los señalados en la NCh 3171, no se puede reducir el viento por el factor de direccionalidad K_d .

6.3. ANÁLISIS PARTICULAR: USO VELOCIDADES DE VIENTO NCh 432-2010

Representación Gráfica Zonas NSEG 5 y NCh 432-2010



- Análisis considerando velocidades de tramos 1, 2 y 3 según Tabla 6 de NCh 432-2010, que corresponde a la zona comprendida entre Arica y Puerto Montt.
- Análisis según parámetros de diseño de ASCE Manual N° 74-2010 (viento base de ráfaga promedio en 3 segundos).
- Comparación con presiones de viento Zona II y Zona III según NSEG 5 E.n 71 (zonificación entre Arica a Puerto Montt).

ANÁLISIS PARTICULAR: USO VELOCIDADES DE VIENTO NCh 432-2010

- Ejemplo 1A: Tramo 1 NCh 432-2010 $V_O = 30$ m/s Tabla 6

EJEMPLO 1A		
Cota 0 msnm T° 15 °C τ 1.00	Cota 0 msnm T° 15 °C τ 1.00	Cota 1500 msnm T° 15 °C τ 0.84
NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 1	NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 1	NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 1
Vo (3s) 30 m/s	Vo (3s) 30 m/s	Vo (3s) 30 m/s
qo (3s) 56.3 kg/m ²	qo (3s) 56.3 kg/m ²	qo (3s) 47.0 kg/m ²
Vo en Zona C Línea costa = Zona D (ASCE 74 2010)	Vo en Zona C Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)	Vo en Zona C Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)
Hcond 30 m Vano 400 m Gw 0.63 Kz 1.43	Hcond 30 m Vano 400 m Gw 0.65 Kz 1.26	Hcond 30 m Vano 400 m Gw 0.65 Kz 1.26
qz 50.7 kg/m ² NSEG5 40 kg/m ² (Zona III)	qz 46.1 kg/m ² NSEG5 40 kg/m ² (Zona III)	qz 38.5 kg/m ² NSEG5 40 kg/m ² (Zona III)

- Ejemplo 1B: Tramo 1 NCh 432-2010 $V_O = 26$ m/s Tabla 5

EJEMPLO 1B		
Cota 0 msnm T° 15 °C τ 1.00	Cota 0 msnm T° 15 °C τ 1.00	
NCh 432-2010 Tabla 5 Iquique	NCh 432-2010 Tabla 5 Iquique	
Vo (3s) 26 m/s	Vo (3s) 26 m/s	
qo (3s) 42.3 kg/m ²	qo (3s) 42.3 kg/m ²	
Vo en Zona C Línea costa = Zona D (ASCE 74 2010)	Vo en Zona C Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)	
Hcond 30 m Vano 400 m Gw 0.63 Kz 1.43	Hcond 30 m Vano 400 m Gw 0.65 Kz 1.26	
qz 38.1 kg/m ² NSEG5 40 kg/m ² (Zona III)	qz 34.6 kg/m ² NSEG5 40 kg/m ² (Zona III)	

- Ejemplo 2A: Tramo 2 NCh 432-2010 $V_O = 35$ m/s Tabla 6

EJEMPLO 2A								
Cota	0 msnm		Cota	0 msnm		Cota	1500 msnm	
T°	15 °C		T°	15 °C		T°	15 °C	
τ	1.00		τ	1.00		τ	0.84	
NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 2			NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 2			NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 2		
Vo (3s)	35	m/s	Vo (3s)	35	m/s	Vo (3s)	35	m/s
qo (3s)	76.6	kg/m ²	qo (3s)	76.6	kg/m ²	qo (3s)	64.0	kg/m ²
Vo en Zona C			Vo en Zona C			Vo en Zona C		
Línea costa = Zona D (ASCE 74-2010)			Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)			Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)		
Hcond	30 m		Hcond	30 m		Hcond	30 m	
Vano	400 m		Vano	400 m		Vano	400 m	
Gw	0.63		Gw	0.65		Gw	0.65	
Kz	1.43		Kz	1.26		Kz	1.26	
qz	69.0	kg/m ²	qz	62.7	kg/m ²	qz	52.4	kg/m ²
NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)
NSEG 5	50	kg/m ² (Zona II)						

- Ejemplo 2B: Tramo 2 NCh 432-2010 $V_O = 30-32$ m/s Tabla 5

EJEMPLO 2B								
Cota	0 msnm		Cota	0 msnm		Cota	500 msnm	
T°	15 °C		T°	15 °C		T°	15 °C	
τ	1.00		τ	1.00		τ	0.94	
NCh 432-2010 Tabla 5 Pichidanguí/Putu			NCh 432-2010 Tabla 5 La Serena			NCh 432-2010 Tabla 5 Pudahuel		
Vo (3s)	30	m/s	Vo (3s)	32	m/s	Vo (3s)	30	m/s
qo (3s)	56.3	kg/m ²	qo (3s)	64.0	kg/m ²	qo (3s)	53.0	kg/m ²
Vo en Zona C			Vo en Zona C			Vo en Zona C		
Línea costa = Zona D (ASCE 74-2010)			Línea costa = Zona D (ASCE 74-2010)			Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)		
Hcond	30 m		Hcond	30 m		Hcond	30 m	
Vano	400 m		Vano	400 m		Vano	400 m	
Gw	0.63		Gw	0.65		Gw	0.65	
Kz	1.43		Kz	1.26		Kz	1.26	
qz	50.7	kg/m ²	qz	52.4	kg/m ²	qz	43.4	kg/m ²
NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)
NSEG 5	50	kg/m ² (Zona II)						

- Ejemplo 3A: Tramo 3 NCh 432-2010 $V_0 = 40$ m/s Tabla 6

EJEMPLO 3A								
Cota	0 msnm		Cota	0 msnm		Cota	1000 msnm	
T°	15 °C		T°	15 °C		T°	15 °C	
τ	1.00		τ	1.00		τ	0.89	
NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 3			NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 3			NCh 432-2010 Tabla 6 Tramo 3		
Vo (3s)	40	m/s	Vo (3s)	40	m/s	Vo (3s)	40	m/s
qo (3s)	100.0	kg/m ²	qo (3s)	100.0	kg/m ²	qo (3s)	88.7	kg/m ²
Vo en Zona C			Vo en Zona C			Vo en Zona C		
Línea costa = Zona D (ASCE 74-2010)			Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)			Línea interior = Zona C (ASCE 74-2010)		
Hcond	30 m		Hcond	30 m		Hcond	30 m	
Vano	400 m		Vano	400 m		Vano	400 m	
Gw	0.63		Gw	0.65		Gw	0.65	
Kz	1.43		Kz	1.26		Kz	1.26	
qz	90.1	kg/m ²	qz	81.9	kg/m ²	qz	72.6	kg/m ²
NSEG 5	50	kg/m ² (Zona II)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)	NSEG 5	40	kg/m ² (Zona III)

6.4. CONCLUSIONES ANÁLISIS NCh 432-2010 PARA LÍNEAS AÉREAS T&D

- Utilizando las velocidades de viento señaladas en la Tabla 6 (y Figuras 3 y 4) de la NCh 432-2010 para el diseño de líneas de transmisión/distribución se obtienen presiones de viento sobre conductor mucho mayores que las señaladas en la NSEG 5 E.n 71.

Latitud Sur° NCh 432-2010	Velocidad Básica Viento Vo NCh 432-2010	Referencia	Factor de Aumento Presión de Viento Conductor Zona II y Zona III según NSEG 5 para Vo según NCh 432-2010
17°29' - 27°	30 m/s	Arica - Caldera	1.0 - 1.26
27° - 35°	35 m/s	Caldera - Curicó	1.37 - 1.72
35° - 42°	40 m/s	Curicó - Pto. Montt	1.80 - 2.05

- Buen comportamiento de líneas de transmisión/distribución ubicadas en Zona II y Zona III NSEG 5 E.n 71 y diseñadas con este Reglamento, respalda las presiones de viento con los factores de seguridad/mayoración/sobrecarga señaladas en la NSEG 5 E.n 71 para dichas zonas.
- Las velocidades de viento señaladas en la Tabla 5 de la NCh 432-2010 es información estadística de utilidad, la cual, para el caso de utilizarse en el diseño de líneas aéreas T&D, debe tratarse con las siguientes precauciones:
 - ✓ Como señala el punto 7.4.2 de la misma NCh 432-2010, solo pueden utilizarse para zonas cercanas al lugar de medición.
 - ✓ Una línea de transmisión/distribución tiene en general una ubicación espacial de gran longitud con respecto al punto de medición del dato de la Tabla 5, por lo que no necesariamente el valor señalado es válido para el diseño de una línea.
 - ✓ La definición de los parámetros meteorológicos para el diseño deben ser determinados por el especialista correspondiente (especialista en meteorología).

SECCIÓN 7

Conclusiones y Recomendaciones Finales



Conclusión 1	Zonificación NSEG 5.
Conclusión 2	Rango de validez de presiones de viento conductor NSEG 5 Zona II y Zona III.
Conclusión 3	Rango de validez de presiones de viento estructuras de soporte NSEG 5 Zona II y Zona III.
Conclusión 4	Situación para Zona I y Zona IV NSEG 5.
Conclusión 5	Factores de Seguridad / Mayoración / Sobrecarga definidos en NSEG 5.
Conclusión 6	Alcance y limitaciones de la aplicabilidad de la NSEG 5 para otras estructuras del sistema de redes eléctricas.
Conclusión 7	Alcance y limitaciones de la aplicabilidad de la NCh 432-2010 en líneas aéreas T&D.
Conclusión 8	Necesidad de elaborar una normativa de diseño de líneas aéreas T&D.

C1 Zonificación NSEG 5

- Buen comportamiento de líneas de transmisión/distribución ubicadas en Zona II y Zona III NSEG 5 E.n 71 y diseñadas con este Reglamento, respalda las presiones de viento con los factores de seguridad/mayoración/sobrecarga señaladas en la NSEG 5 E.n 71 para dichas zonas.
- La zonificación en eje Este – Oeste que tiene la NSEG 5 E.n 71 hasta el paralelo correspondiente a Puerto Montt, es concordante con las condiciones meteorológicas propias asociadas a zonas costeras, valles y montañas, por lo que se puede considerar como realista.
- Independiente de lo anterior, las características propias del trazado de la línea podrán llevar a definir microzonas particulares que deberán analizarse en si mismas, especialmente en líneas de transmisión (trazados más largos que pueden pasar por distintas zonas topográficas).

**C2 Rango de validez de presiones de viento conductor
 NSEG 5 Zona II y Zona III**

	NSEG 5 E.n 71	
	Zona II	Zona III
Presión de Viento Diseño Conductor	50 kg/m ²	40 kg/m ²
Velocidad de Viento Base V_0 (a 10 m sobre nivel del suelo medida en ráfaga promedio de 3 segundos)	105 a 115 km/hr 29 a 32 m/s	98 a 107 km/hr 27 a 30 m/s
Velocidad de Viento con Período de Retorno de 50 años	Probabilidad de excedencia 2% anual	
Altura Máxima de Estructura (hasta punta de canastillo)	Ht = 50 m	
Vano de Diseño	≤ 500 metros	
Altura Geográfica de la Línea	0 a 1.000 msnm	

Velocidad V_0 de acuerdo a valores obtenidos de Sección 4 Ejemplos Numéricos

- Se deben analizar los vanos especiales de la línea, tales como:
 - ✓ Cruces sobre cuerpos de agua
 - ✓ Vanos largos
 - ✓ Vanos con estructuras altas
 - ✓ Vanos con condiciones topográficas especiales (Kzt) en la medida que puedan ser identificados
- No se recomienda utilizar el factor de seguridad como holgura para cubrir vanos especiales que sí pueden ser identificados (por ejemplo los tres primeros del punto anterior).
- Considerando la altura de las estructuras de soporte para líneas de 500 kV, en particular en disposición vertical, éstas líneas estarían fuera del rango de validez de las presiones de viento definidas en la NSEG 5 E.n 71.

C3 Rango de validez de presiones de viento estructuras de soporte NSEG 5 Zona II y Zona III

- El rango de validez de las presiones de viento sobre las estructuras es el mismo señalado por el conductor debido a que la relación entre ambas presiones es el factor de forma C_f que corresponde a la superficie expuesta al viento que tiene la estructura.
- La NSEG 5 considera implícitamente los siguientes factores de forma con respecto a la presión de viento definida para conductor:
 - ✓ $C_f = 1.0$ para estructuras circulares de diámetro menor a 50 cm
 - ✓ $C_f = 1.2$ para estructuras circulares de diámetro mayor a 50 cm
 - ✓ $C_f = 2.0$ para superficies planas golpeadas perpendicularmente
 - ✓ $C_f = 4.0$ para estructuras enrejadas (área expuesta de 1 cara)
- Comparando con lo señalado en el Manual ASCE N° 74-2010 y en IEC 60826-2010:
 - ✓ $C_f = 1.0$ sería un valor bajo para ser utilizado en cadenas de aislamiento (diámetro menor a 50 cm)
 - ✓ $C_f = 1.2$ sería un valor bajo para ser utilizado en estructuras de soporte tipo postes poligonales
 - ✓ $C_f = 4.0$ podría ser un valor alto para ser utilizado en estructuras enrejadas, dependiendo de la relación $\text{Área real expuesta} / \text{Área llena}$

C4 Situación para Zona I y Zona IV NSEG 5

- Zona I y Zona IV tienen distintas microzonas con condiciones meteorológicas particulares.
- No es posible definir en una norma o reglamento parámetros de viento (ni otros) de diseño para Zona I y Zona IV debido a la diversidad de condiciones topográficas y meteorológicas al interior de cada una.
- Para cada proyecto se deben definir las condiciones meteorológicas para el diseño ya sea en base a la información disponible y/o a estudios necesarios a realizar.
- La definición de las condiciones meteorológicas para el diseño propiamente tal, así como la información necesaria para su determinación, deben ser definidas por un profesional especialista en meteorología.
- La información que se requiere para el diseño es al menos:
 - ✓ Viento máximo sin hielo
 - ✓ Hielo máximo sin viento
 - ✓ Combinación más probable de viento con hielo
 - ✓ Temperaturas mínimas y máximas
 - ✓ Temperatura media anual
 - ✓ Nivel cerámico

C5 Factores de Seguridad/Mayoración/Sobrecarga definidos en NSEG 5

- Los Factores de Seguridad / Mayoración / Sobrecarga en el diseño de cualquier elemento corresponde a tomar en cuenta la “incertidumbre” de las solicitaciones y también el modo de falla del material (dúctil/frágil).
- En particular, la “función” de los Factores de Seguridad / Mayoración / Sobrecarga definidos en la NSEG 5 para el diseño corresponden a tomar en cuenta:
 - ✓ Que las condiciones meteorológicas que se definan se basan en información estadística, es decir, no son a “todo evento”.
 - ✓ Que las condiciones meteorológicas a lo largo de la línea tienen variación.
 - ✓ La materialidad del elemento (materiales frágiles o materiales dúctiles).
 - ✓ La eventualidad o permanencia de la solicitación.
 - ✓ En ningún caso corresponden a considerar “incertidumbres” en el diseño de las estructuras propiamente tal.
- Considerando el buen comportamiento que han tenido las líneas de transmisión/distribución, se puede considerar que los Factores definidos en la NSEG 5 en conjunto con las presiones de viento de la Zona II y Zona III son adecuados.

C6 Alcance y limitaciones de la aplicabilidad de la NSEG 5 para otras estructuras del sistema de redes eléctricas

- El diseño de estructuras altas de subestaciones eléctricas, tales como marcos/pórticos de líneas, marcos/pórticos de barras, pilares para malla aérea y otros similares deben realizarse bajo las mismas disposiciones de las líneas, incluyendo sus mismos factores de seguridad/mayoración/sobrecarga, debido a que son estructuras cuya función principal es la misma: sostener conductores y accesorios para el transporte de energía eléctrica.
- Otras estructuras de subestaciones eléctricas deben diseñarse con sus propias disposiciones debido a que su función es diferente y a que sus solicitaciones son diferentes (ejemplo son las estructuras de soporte de equipos donde la principal solicitación es el sismo).
- Estructuras para torres de antena deben diseñarse con sus propias normas particulares, siendo las normativas internacionales las más recomendadas. Las condiciones meteorológicas de diseño deben ser las correspondientes a su ubicación local.

Para estos efectos, se deberá evaluar caso a caso si las condiciones definidas en la NSEG 5 son suficientes o no o si lo son las condiciones definidas en la NCh 432-2010, considerando las alturas de las torres y la eventual cercanía con zonas donde pudieran existir registros de viento.

En general, las torres de antena enrejadas ubicadas dentro de Subestaciones Eléctricas y diseñadas con las presiones de viento de la NSEG 5, han tenido un buen comportamiento estructural; sin embargo en algunos casos los sistemas de fijación de las antenas a la torre han presentado fallas que han significado el desplazamiento de la antena con respecto a su posición de funcionamiento.

C7 Alcance y limitaciones de la aplicabilidad de la NCh 432-2010 en líneas aéreas T&D

- El alcance de la Norma NCh 432-2010 es para construcciones y no para líneas aéreas de redes eléctricas. Como no entrega parámetros de diseño para líneas aéreas de redes eléctricas, no corresponde señalar que las líneas de transmisión/distribución deben ser diseñadas con las disposiciones de la NCh 432-2010.
 - Utilizar la zonificación y velocidades de viento señaladas en la NCh 432-2010 para el diseño de líneas aéreas de redes eléctricas, conlleva a utilizar presiones de viento mucho mayores que las de diseño actuales (hasta dos veces según sea la zona de ubicación).
 - De ser las velocidades de viento señaladas en la NCh 432-2010 adecuadas para el diseño de líneas, el sistema de redes de transmisión/distribución habría tenido múltiples fallas ya sea eléctricas (acercamiento de conductores) como estructurales (falla de estructuras de soporte/fundaciones) para solicitación de viento máximo, lo que no ha ocurrido.
 - El buen comportamiento de las líneas del sistema diseñadas con las presiones de viento NSEG 5, ha demostrado que dichas presiones (y sus velocidades asociadas) son adecuadas para el diseño considerando las limitaciones de validez señaladas.
- Las velocidades de viento señaladas en la Tabla 5 de la NCh 432-2010, es información estadística de utilidad, la cual, para el caso de utilizarse en el diseño de líneas T&D, debe tratarse con las siguientes precauciones:
 - ✓ Como señala el punto 7.4.2 de la misma NCh 432-2010, solo pueden utilizarse para zonas cercanas al lugar de medición.
 - ✓ Una línea de transmisión/distribución tiene en general una ubicación espacial de gran longitud con respecto al punto de medición del dato de la Tabla 5, por lo que no necesariamente el valor señalado es válido para el diseño de una línea.
 - ✓ La definición de los parámetros meteorológicos para el diseño deben ser determinados por el especialista correspondiente (especialista en meteorología).

C8 Necesidad de elaborar una normativa de diseño de líneas aéreas T&D

- NSEG 5 E.n 71 ha tenido un buen comportamiento, pero no es suficiente para las necesidades actuales:
 - ✓ Líneas actuales con estructuras de mayores alturas
 - ✓ Líneas con haz de conductores
 - ✓ Parámetros de diseño definidos para Zona I son insuficientes
 - ✓ Líneas o partes de líneas donde eventualmente no se pueden utilizar los parámetros definidos para Zona II y Zona III
 - ✓ Necesidad de definir solicitaciones de hielo
- Inclusión equivocada de la NCh 432-2010 como parte de los Criterios de Diseño de algunos proyectos de líneas.
- Criterios de diseño nacionales conocidos como “buena práctica de ingeniería” pero no escritos o no reconocidos oficialmente: nuevos actores (nacionales y extranjeros) no los conocen o deciden no utilizarlos por no ser normativa oficial.
- Normas de diseño se elaboran en base a la experiencia pasada: mantener lo que ha dado buen resultado, corregir o mejorar lo que no y en lo posible, incorporar criterios de diseño para situaciones nuevas que a ese momento se puedan prever.
En ningún caso son para diseño “a todo evento”: no puede conocerse a priori que es “todo evento”.
- Normas de diseño se elaboran por diseñadores: su experiencia es en criterios de diseño, definiciones de solicitaciones y sus combinaciones, factores de seguridad, comportamiento del sistema/estructuras/seguridad a las personas, otros.

No corresponde a los diseñadores definir condiciones meteorológicas ni hacer zonificaciones del país en base a estas condiciones meteorológicas.

- Uso de normativas internacionales debe ser analizado en función de los criterios de diseño actualmente utilizados y el comportamiento sistémico, estructural y de seguridad a las personas que se ha tenido:
 - ✓ Normas internacionales han sido definidas en base a la experiencia de quienes en ella trabajaron y en base a las situaciones locales del país/región donde se tiene la experiencia. No necesariamente son aplicables a nuestra realidad en su totalidad.
 - ✓ Versiones actualizadas de normas deben ser vueltas a estudiar para ver su aplicabilidad a nuestra realidad.
 - ✓ A modo de ejemplo se comenta el hallazgo en los ejemplos numéricos presentados en la Sección 4: a una misma velocidad de viento equivalente, las presiones de viento de diseño en conductor son muy diferentes si se utiliza Manual ASCE N° 74-2010 o IEC 60826-2003.
- Norma nacional debe definir cómo se calculan las solicitaciones para el diseño de líneas en base a la información de condiciones meteorológicas (velocidad de viento, hielo, otros), independiente de que se puedan definir solicitaciones particulares específicas bajo ciertas condiciones (como por ejemplo es el rango de validez para presiones de viento en conductor NSEG 5 Zona II y Zona III).
- Distintas normas llevan a obtener presiones de viento de diseño diferentes en una misma línea. Se debe definir qué norma o normas internacionales se utilizarán como base para elaborar la norma nacional y cómo se aplicarán a nuestra realidad.

- Norma nacional debe ser lo más autosuficiente posible: incluir explícitamente disposiciones específicas de otras normas que considere aplicables y remitir a disposiciones particulares de otras norma sólo lo que corresponde a situaciones especiales y/o de baja probabilidad de ocurrencia.
- Las normas deben revisarse con cierta periodicidad para confirmar su validez por un nuevo periodo o para actualizar/modificar lo que corresponda.
- Propuesta de nuevo Reglamento que estuvo en Consulta Pública por la SEC el 1er semestre de 2015:
 - ✓ Mejora la situación, pero deja temas sin resolver, como por ejemplo, cómo se calculan las solicitaciones para el diseño de líneas con estructuras de más de 50 metros.
 - ✓ No incorpora que líneas en zona urbana (ASCE Zona B) tienen condiciones de viento menores que líneas en zonas abiertas (ASCE Zona C), lo que sí está incorporado en las normas internacionales de diseño de líneas.
 - ✓ Incorpora varias mejoras, pero también modifica varias disposiciones que en opinión de varios profesionales del sector, incluidos los autores de la presente Guía, no se justificaba modificar.
 - ✓ El proceso de Consulta Pública terminó a fines de junio 2015, sin embargo a la fecha no se tiene información de las respuestas a las observaciones ni de las propuestas de cambio emitidos en el proceso de consulta, como tampoco sobre una eventual publicación de un nuevo reglamento.

Es opinión de los autores de la presente Guía y de CIGRE Chile que existe la necesidad urgente de elaborar una norma nacional para la determinación de las solicitaciones de diseño sobre las líneas que abarque el cálculo de las solicitaciones de viento, así como sus posibles combinaciones con otras solicitaciones propias de las líneas.

Otras recomendaciones

- Recopilar la información de condiciones meteorológicas utilizadas en diseños de líneas en Zona I y Zona IV y conocer cuál ha sido el comportamiento de esas líneas.

Esta información recopilada debiera poder ser accesible, para servir como antecedente para:

- ✓ El diseño de otras líneas en la misma zona.
- ✓ El diseño de líneas en zonas geográficamente distintas pero donde el profesional especialista en meteorología considere que son meteorológicamente asimilables.
- Una zonificación meteorológica se requiere para el diseño de distintas instalaciones, no sólo para líneas eléctricas.

Es opinión de estos autores que es un problema país y no en particular del sistema de transmisión (asimilable a zonificación sísmica).

AUTORES





Marcela Aravena Rodríguez

- Ingeniero Civil Estructural
Universidad de Chile 1993
- MBA de la Pontificia Universidad Católica 2013
- Socia INGTEGRAL Servicios de Ingeniería SpA
- Socia Colegio de Ingenieros
- Socia CIGRE
- Email: marcela.aravena@ingtegral.cl

Ingeniero Civil Estructural con más de 20 años de experiencia profesional, principalmente en diseño y revisión de estructuras de proyectos de transmisión (líneas y subestaciones) y en coordinación de proyectos de líneas de transmisión.

Ha trabajado en empresas como Ingendesa, Transelec y CGE Transmisión. Como Consultor Independiente ha trabajado en proyectos para Colbún, Dessau, Transelec, Aes Gener, CGE Transmisión, Kipreos, BBosch, entre otros.

Dentro de su trayectoria profesional ha prestado diferentes servicios de ingeniería a proyectos de líneas de transmisión hasta 500 kV así como en la parte sísmica correspondiente a las estructuras y fundaciones de equipos eléctricos de subestaciones; servicios de ingeniería relacionados con elaboración de criterios de diseño, diseño propiamente tal, revisión de ingeniería, auditoría técnica, inspecciones de pruebas de carga de torres y otras asesorías relacionadas.

Desde 2013 se desempeña como Ingeniero Consultor, Socia de INGTEGRAL Servicios de Ingeniería SpA.

Directora CIGRE Chile período abril 2017- abril 2019.

Ha integrado grupos de trabajo para elaboración de normativas y/o recomendaciones técnicas relacionadas con el sector de transmisión, tales como:

- 2010 CIGRE Chile: para el análisis del sismo del 27F en las instalaciones del sistema de transmisión.
- 2013 Empresas Eléctricas A.G y 2015 Generadoras A.G: para el proceso de la SEC sobre la actualización de la NSEG 5 E.n 71.
- 2015-2016 Instituto de la Construcción: para la actualización de la NCh 2369, Diseño Sísmico de Instalaciones Industriales.
- Actualmente en CIGRE Chile lidera el Grupo de Trabajo Técnico – Actualización requisitos de diseño sísmico de instalaciones eléctricas de alta tensión (sub grupo Civil-Estructural).



Arturo Gajardo Varela

- Ingeniero Civil Electricista
Universidad Técnica Federico Santa María 1960
- Director AVAGA Consultores Ltda
- Socio Colegio de Ingenieros
- Socio CIGRE
- Email: avaga@vtr.net

Ingeniero Civil Electricista con 56 años de experiencia en el desarrollo de proyectos de líneas de transmisión y de subestaciones eléctricas, en especial las relacionadas con la transmisión y distribución de energía eléctrica de alta tensión, cubriendo tensiones hasta de 500 kV. Durante ese período le ha tocado participar en las diferentes etapas que conforman dichos proyectos, tanto para obras de transmisión en Chile como en Ecuador, Paraguay, Perú, Argentina, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala y El Salvador.

La experiencia profesional fue adquirida por su trabajo en:

- ENDESA-Chile, período 1961-1990. Último cargo: Jefe Sección Proyectos de Transmisión
- INGENDESA, período 1990-1999. Último cargo: Jefe Especialidad Ingeniería Eléctrica
- INGENTRA, período 1999-2004. Cargo: Director de Servicio Transmisión y Distribución de Energía
- DESSAU INGENTRA, período 2004-2012. Cargo: Gerente de Transmisión de Energía
- Desde 2013 se desempeña como Consultor, Director de AVAGA Consultores Ltda.

Actualmente socio CIGRE Chile.

Ha integrado grupos gremiales y profesionales, tales como:

- Desde 1988 participa en el Consejo de Especialidad Eléctrica del Colegio de Ingenieros de Chile A.G., habiendo sido su presidente en los períodos 1994-1998 y 2000-2006. Además, es miembro de la Comisión de Energía y tuvo a su cargo el tema Energía Eléctrica de las versiones I y II del Proyecto País.
- 2013 participó en Empresas Eléctricas A.G para el proceso de la SEC sobre la actualización de la NSEG 5 E.n 71.
- Desde 2014 forma parte del Consejo Nacional del Colegio como Representante de la Especialidad Ingeniería Eléctrica.

Además, ha desarrollado las siguientes actividades docentes:

- Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería. Profesor de la Cátedra Taller de Proyectos de Sistemas de Potencia. 1974-1996.
- Universidad Técnica del Estado (hoy Universidad de Santiago), Escuela de Ingeniería. Profesor del Seminario de Titulación para Ingenieros Civiles Electricistas. 1973.
- A partir de 2015, Director de Acredita S.A.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma NSEG 5 E.n 71 *“Electricidad. Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes”*.
- [2] Manual ASCE N° 74-1991 *“Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading”* (2da edición).
- [3] Manual ASCE N° 74-2010 *“Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading”* (3era edición).
- [4] Norma IEC 60826-2003 *“Design Criteria of Overhead Transmission Lines”*.
- [5] Norma NCh 432-2010 *“Diseño Estructural – Cargas de Viento”*.



www.cigre.cl