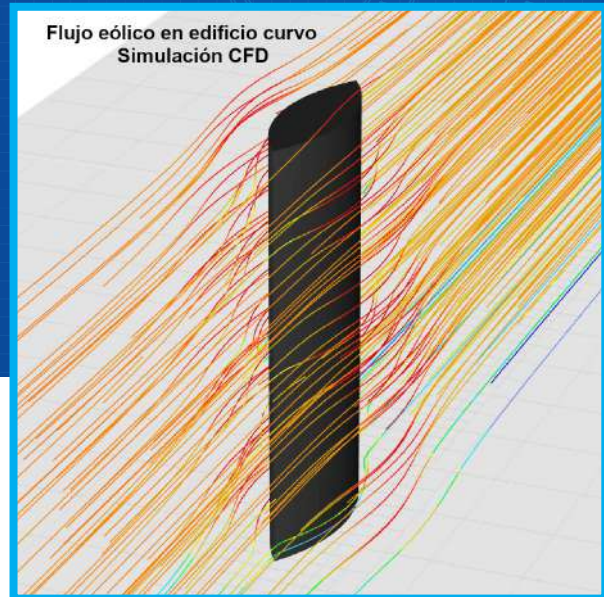


Acción del viento en edificios curvos

Carlos Martin Walter

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue

Contacto: carlosmartinwalter@yahoo.es



RESUMEN

El presente trabajo es un avance de investigación sobre la acción del viento en edificios curvos. Existe una tendencia visual y estética de construir edificios con formas de perfil aerodinámico, lo que podría generar cargas de sustentación y arrastre típico de dichos dispositivos. Se busca analizar el patrón de flujo de vientos que se producen en el entorno de edificios curvos, determinar las cargas estáticas y dinámicas producidas por el viento, tratando de encontrar algún modelo matemático que generalice estos tipos de cargas. La metodología utilizada se basa en ensayos en túnel de viento de capa límite atmosférica mediante un programa de simulación CFD. Los resultados de la investigación permitirán conocer mejor las cargas eólicas sobre edificios de formas no convencionales y podrían aplicarse a las normas del Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones CIRSOC 102.

ABSTRACT

The present work is an advance of research on the action of the wind in aerodynamic buildings. There is a visual and aesthetic tendency to build buildings with aerodynamic shapes, which could generate lift and drag loads typical of such devices. It seeks to analyze the flow pattern of winds that occur in the environment of aerodynamic buildings, determine the static and dynamic loads produced by the wind, trying to find a mathematical model that generalizes these types of loads. The methodology used is based on tests in the atmospheric boundary layer wind tunnel using a CFD simulation program. The results of the research will allow a better understanding of wind loads on non-conventional buildings and could be applied to the norms of the Argentine Regulation of Wind Action on Constructions CIRSOC 102.

INTRODUCCIÓN

Hay nuevas tendencias en la arquitectura de edificios que emplean el uso de formas aerodinámicas.

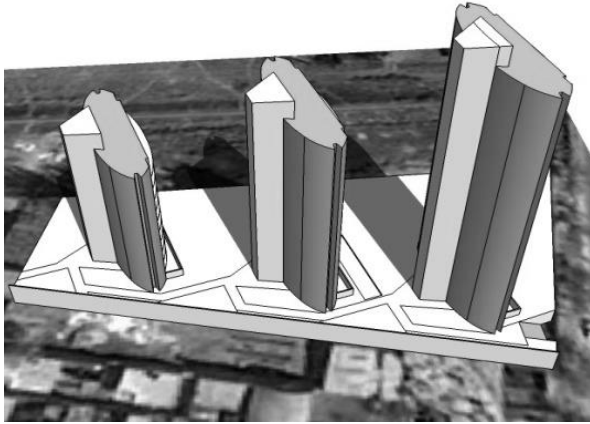


Figura 1: Edificios curvos en Cipolletti, Rio Negro.

Cuando se construye un edificio alto, éste se presenta como un obstáculo para la corriente de viento existente, por lo que el flujo de aire deberá bordearlo tridimensionalmente, con la característica que el viento tiene un perfil de velocidades representado por la capa límite atmosférica, que incrementa su velocidad con la altura.

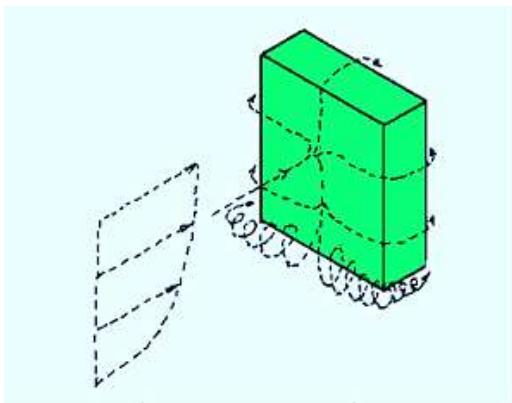


Figura 2: Distribución del flujo eólico en un edificio alto.

En la Figura 2, se puede observar que la corriente de viento en altura es más intensa y al encontrar el edificio debe distribuir su caudal por sobre el techo, los laterales y hacia abajo.

Detrás del edificio se generan una serie de vórtices y por lo tanto una zona de presión reducida que actuará como un succionador, acumulando polvo, hojas, papeles y todo cuerpo liviano, además de ser molesta por la presencia de remolinos. Por los laterales se generan altas velocidades y vórtices agazapados a nivel peatón. La Figura 3 ilustra estos patrones de flujo del viento por detrás y a los lados

de un edificio rectangular.

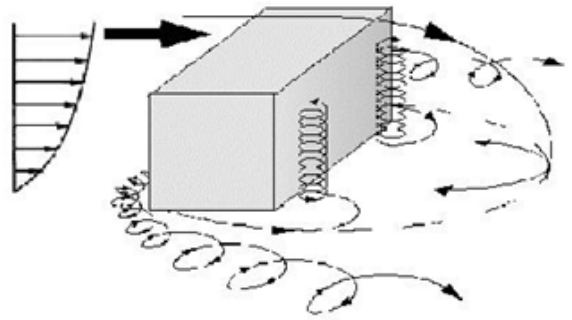


Figura 3: Zona de separación de flujo y sistemas de vórtices, alrededor de un edificio de forma rectangular.

El flujo de aire en la capa límite pierde cantidad de movimiento debido a las fuerzas de fricción. Cuando el gradiente externo de presiones es favorable, las capas exteriores de fluido transfieren continuamente cantidad de movimiento a las capas adyacentes al obstáculo, de modo que el aire en la capa límite mantiene una velocidad positiva. Sin embargo, en un gradiente adverso de presiones, esta transferencia es menor y se llega a un punto en que las capas inferiores han perdido todo su impulso y se detienen. Las capas adyacentes a éstas deben fluir sobre aire estacionado y en consecuencia se separan de la superficie [2]. Este es el fenómeno llamado "separación" o "desprendimiento", que juega un importante papel en el desarrollo de configuraciones de viento alrededor de edificios y las consecuentes fuerzas sobre estos.

En secciones cilíndricas o redondeadas, el punto de separación depende entre otras cosas, de si la capa límite es laminar o turbulenta. Esto está determinado por tres factores: el número de Reynolds (Re), la intensidad de turbulencia del viento (TI) y la rugosidad de la superficie (z_0).

El valor crítico de Re en el que se desencadena la transición laminar a turbulenta es aprox. $3,5 \cdot 10^5$ para cilindros en aire sin turbulencia y con una superficie sin rugosidad. Si el viento contiene turbulencia y la superficie del objeto es rugosa, entonces el Re crítico se reduce a valores del orden de 10^4 .

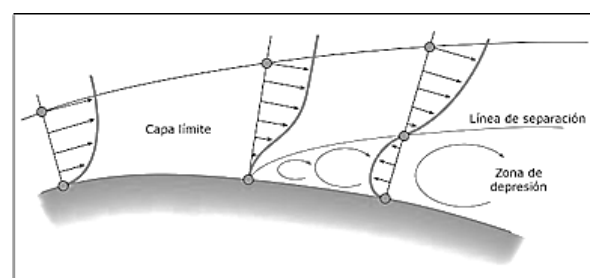


Figura 4: Distribución del flujo eólico en un edificio alto.

El patrón de flujo que le sigue a la separación de la capa límite, es muy importante en el estudio de fuerzas sobre edificios. El punto en que ocurre este desplazamiento depende de la velocidad del viento, el nivel de turbulencia, la rugosidad superficial y la geometría del mismo. Esto complica mucho los estudios que se realizan en túneles de viento debido a que el Re del prototipo será de uno a dos órdenes de magnitud mayor a los que se puedan obtener en el túnel de viento con los modelos.

Afortunadamente, es muy común en construcciones civiles, el uso de secciones de bordes agudos (no redondeados). Para estas secciones, la separación ocurre en el primer borde que debe rodear el flujo, independientemente del Re , de la rugosidad superficial y de las características del viento. Por lo que la acción del viento sobre estas construcciones puede ser investigada en el túnel con resultados confiables, ya que las distintas configuraciones pueden ser reproducidas.

Si el edificio es curvo, la separación es más difícil de predecir.

Sobre los edificios no existen cargas estacionarias, debido a la naturaleza misma del viento, el cual es totalmente turbulento, por lo que las cargas eólicas son fluctuantes.

Cuando una construcción es muy rígida, pueden aparecer cargas oscilantes, debido a la variación del viento o a un patrón de flujo fluctuante alrededor de secciones de ciertas características o bien por una combinación de ambas causas. La metodología para el análisis de estos casos (construcciones de muy alta rigidez) es asumir que sus movimientos son despreciables y estudiarlos en forma cuasi estática, con valores de presión y velocidad promediados o integrados en el tiempo, y con cargas máximas de diseño con una baja probabilidad de ocurrencia en un tiempo, mayor que el de la vida útil previsto para la construcción.

El cálculo de cargas de viento en estos casos está descrito en el Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones CIRSOC 102 [3] (INTI, 2005).

En perfiles aerodinámicos aparecen cargas de sustentación (L), perpendicular a la dirección del viento y de arrastre (D), en la misma dirección del viento, que son muy sensibles al ángulo de ataque y por lo tanto sensibles a la dirección del viento (V). En la Figura 5 se lo ejemplifica, donde se puede observar que la fuerza de sustentación y la fuerza de arrastre componen la fuerza total aerodinámica (F).

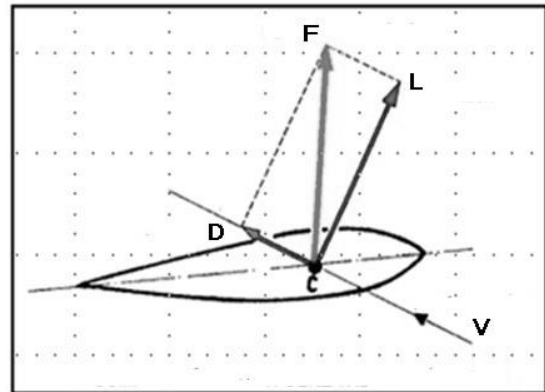


Figura 5: Fuerzas aerodinámicas en un perfil.

Las expresiones de las cargas L y D son:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_L \cdot A \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot A \quad (2)$$

Donde C_L es el coeficiente de sustentación (adimensional), C_D es el coeficiente de arrastre (adimensional), V es la velocidad relativa del viento, ρ es la densidad del aire y A es el área del ala y es el producto de la longitud del ala (envergadura) por el ancho del ala (cuerda).

El ángulo formado entre el viento relativo y la cuerda del perfil se denomina ángulo de ataque (α), siendo este último la línea imaginaria entre el borde de ataque y el borde de fuga del perfil aerodinámico. A medida que crece el ángulo de ataque, la resistencia aumenta y la sustentación crece, aunque tiene un máximo y luego comienza a disminuir, y si el ángulo de ataque continúa aumentando, puede desaparecer, lo que en aeronáutica se llama entrada en pérdida.

Un perfil aerodinámico es bidimensional, pero el ala es tridimensional: tiene dimensiones de largo y ancho. Esta relación (largo/ancho) se llama alargamiento (AR). Las características de la C_L de un ala con gran alargamiento tienden a parecerse a las del perfil, pero a medida que el alargamiento se hace pequeño, se aleja de las características aerodinámicas del perfil con el que se construyó (Figura 6).

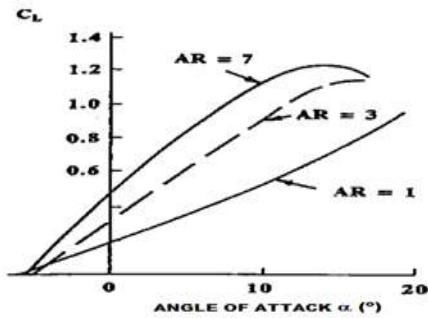


Figura 6: Comparación de alas de igual perfil pero diferente alargamiento (AR) en el gráfico \$C_L\$-\$\alpha\$.

Se observa que a medida que la relación de aspecto disminuye, las características del \$C_L\$ también. Los perfiles en los techos tienen la característica de ser de pequeño alargamiento, por lo que el cálculo de la distribución de presiones en superficie debe corregirse a partir de los datos del perfil aerodinámico utilizado en su construcción.

Esto se debe a que la pequeña envergadura genera un vórtice mayor en el extremo del perfil, por lo que hay más resistencia, menos sustentación y un patrón complejo de flujo en el extremo del techo, [4] como se observa en la Figura 7.



Figura 7: Esquema de vórtices en el extremo del perfil.

Por otra parte, la teoría de perfiles aerodinámicos aplicada a aeronaves no tiene en cuenta la capa límite atmosférica. La capa límite atmosférica se define como la parte de la tropósfera que está influenciada por la presencia de la superficie terrestre, y esta puede alcanzar un máximo de 1000-1500 metros de altura, donde las características, desde el punto de vista fluidodinámico, son que la intensidad del viento crece con la altura y tiene una alta intensidad de turbulencia (TI).



Figura 8: Distribución de velocidades cerca de la superficie terrestre y a grandes alturas.

El valor de presión (\$\Delta p\$) que actúa sobre la superficie del edificio se puede transformar en el coeficiente de presión adimensional (\$C_p\$), considerando la densidad del aire (\$\rho\$) y la velocidad del viento (\$V\$):

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2} \quad (3)$$

A través de ensayos en túnel de viento en un programa estándar CFD se analizarán las cargas en edificios. En otra oportunidad se realizarán ensayos en túnel de viento real.

DESARROLLO

Metodología

Se realiza el ensayo en túnel de viento virtual de un edificio curvo y un edificio rectangular de iguales dimensiones: largo de 30m, ancho de 9,6m y alto 60m; con el programa de simulación CFD denominado RWIND, y se comparan sus \$C_p\$. El perfil de velocidades logarítmico se genera en el programa, simulando una capa límite atmosférica típica de un entorno urbano, con una intensidad de turbulencia TI de 15% (Figura 9).

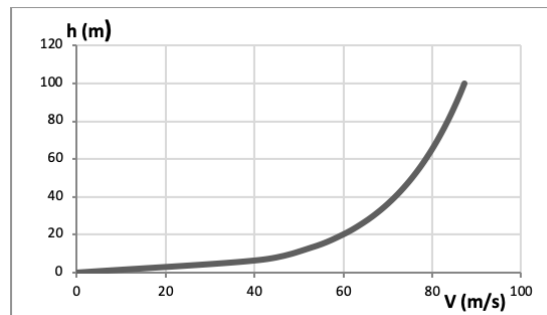


Figura 9: Capa límite atmosférica.

Se utiliza una velocidad de viento de 48 m/s, correspondiente a la ciudad de Neuquén, a 10 metros de altura establecido por el reglamento CIRSOC 102 [3]. Se ensayan los edificios a diferentes direcciones de viento: \$0^\circ\$, \$30^\circ\$, \$45^\circ\$, \$60^\circ\$ y \$90^\circ\$. Se simulan los edificios a escala 1:1 para la determinación de las cargas que actúan sobre ellos. Los resultados estarán expresados a través del \$C_p\$ que representa la presión sobre una superficie.

Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de túnel de viento para los dos tipos de edificios: edificio rectangular y edificio curvo.

Para el edificio rectangular se obtienen los máximos y mínimos valores de C_p presión y succión respectivamente:

Dirección 0°: $C_p = 0,911$
 $C_p = -1,234$

Dirección 30°: $C_p = 0,885$
 $C_p = -1,254$

Dirección 45°: $C_p = 0,885$
 $C_p = -1,574$

Dirección 60°: $C_p = 0,908$
 $C_p = -1,804$

Dirección 90°: $C_p = 0,885$
 $C_p = -1,234$

Para el edificio curvo obtienen:

Dirección 0°: $C_p = 0,676$
 $C_p = -0,726$

Dirección 30°: $C_p = 0,909$
 $C_p = -1,782$

Dirección 45°: $C_p = 0,909$
 $C_p = -1,467$

Dirección 60°: $C_p = 0,900$
 $C_p = -1,497$

Dirección 90°: $C_p = 0,882$
 $C_p = -1,457$

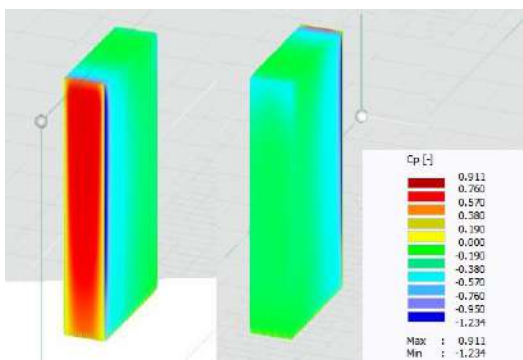


Figura 10: Valores de C_p en edificio rectangular en la dirección de 0°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

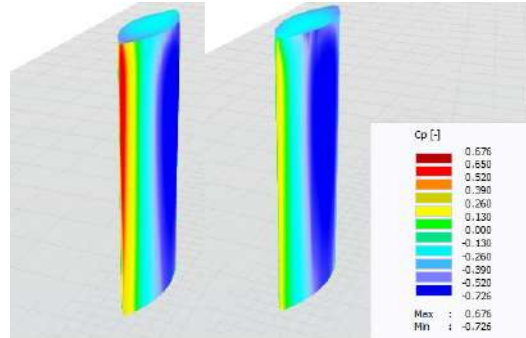


Figura 11: Valores de C_p en edificio curvo en la dirección de 0°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

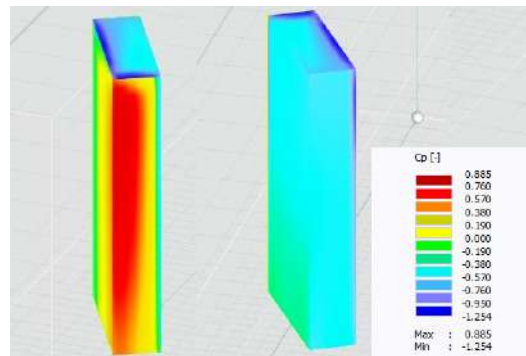


Figura 12: Valores de C_p en edificio rectangular en la dirección de 30°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

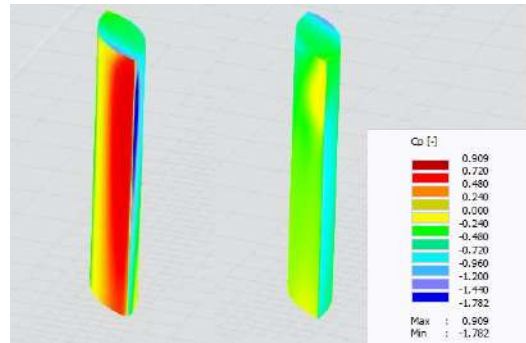


Figura 13: Valores de C_p en edificio curvo en la dirección de 30°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

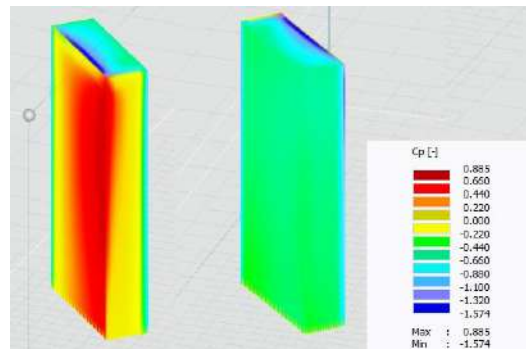


Figura 14: Valores de C_p en edificio rectangular en la dirección de 45°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

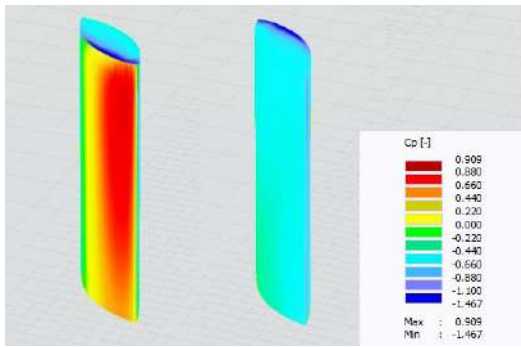


Figura 15: Valores de Cp en edificio curvo en la dirección de 45°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

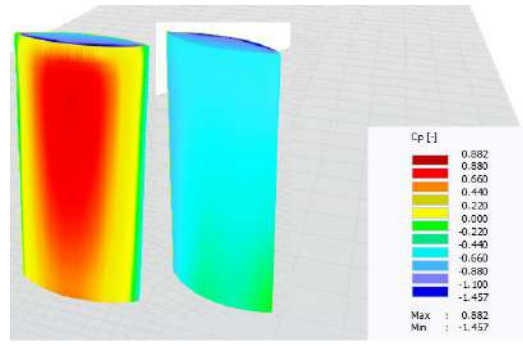


Figura 19: Valores de Cp en edificio curvo en la dirección de 90°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

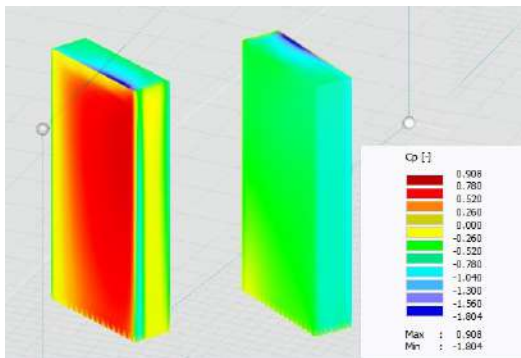


Figura 16: Valores de Cp en edificio rectangular en la dirección de 60°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

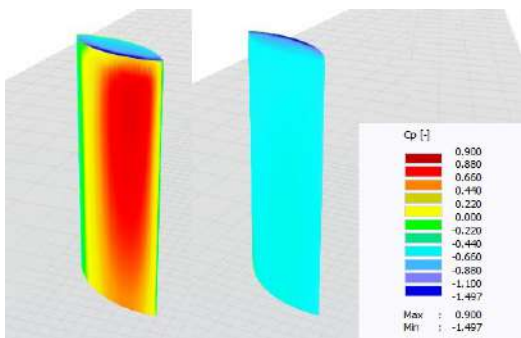


Figura 17: Valores de Cp en edificio curvo en la dirección de 60°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

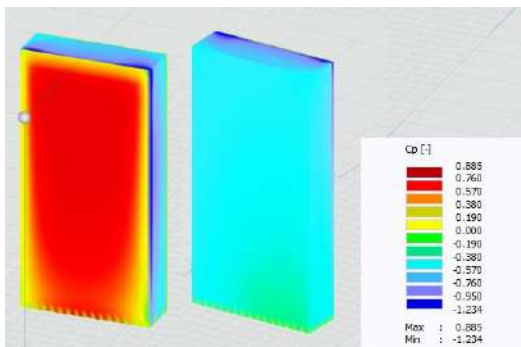


Figura 18: Valores de Cp en edificio rectangular en la dirección de 90°, a barlovento (izquierda), a sotavento (derecha).

La fuerza de arrastre D en cada edificio según la dirección de viento se muestra a continuación.

Para el edificio rectangular:

Dirección 0°: D = 1728,366 kN

Dirección 30°: D = 3599,051 kN

Dirección 45°: D = 4909,742 kN

Dirección 60°: D = 5855,734 kN

Dirección 90°: D = 7242,49 kN

Para el edificio curvo:

Dirección 0°: D = 392,921 kN

Dirección 30°: D = 1811,474 kN

Dirección 45°: D = 3420,419 kN

Dirección 60°: D = 5213,241 kN

Dirección 90°: D = 6828,773 kN

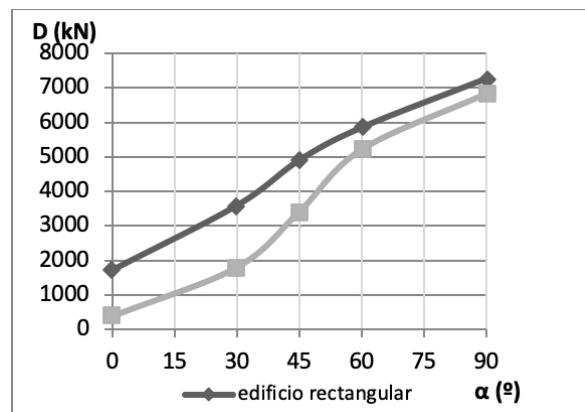


Figura 20: Variación de la fuerza de arrastre (D) en función de la dirección del viento (α)

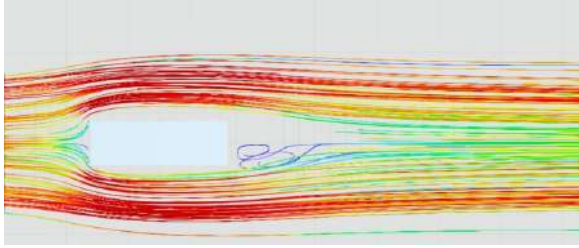


Figura 21: Líneas de flujo de aire en el edificio rectangular en la dirección de viento de 0° .

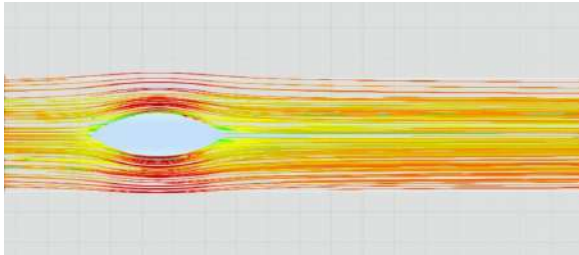


Figura 22: Líneas de flujo de aire en el edificio curvo en la dirección de viento de 0°

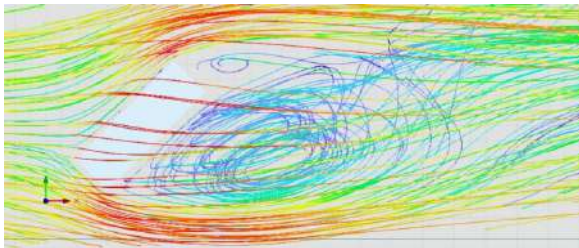


Figura 23: Líneas de flujo de aire en el edificio rectangular en la dirección de viento de 45° .

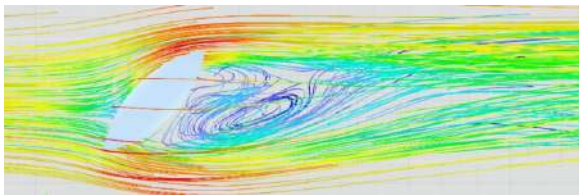


Figura 24: Líneas de flujo de aire en el edificio curvo en la dirección de viento de 45° .

CONCLUSIONES

Se desprende de los resultados que hay una diferencia de presiones entre las dos formas de edificios. Esa diferencia es menor o mayor dependiendo de la orientación del edificio. En cuanto a la fuerza de arrastre puede observarse que a menores ángulos de ataque el arrastre es mucho mayor en el edificio rectangular que en el curvo. A medida que el ángulo de ataque crece los valores de fuerza de arrastre son más cercanos entre ambos edificios, hay mayor desprendimiento de vórtices. Esta diferencia está aso-

ciada a la forma aerodinámica del edificio curvo que tiene características de ala de aeronave: el flujo de aire se pega a la superficie. Esto ocurre hasta cierto ángulo de ataque o dirección del viento.

En cuanto a las cargas sobre el edificio el Reglamento CIRSOC 102 [3] solo contempla edificios de forma prismática, como en el caso del edificio rectangular. No tiene en cuenta edificios curvos, por lo que la forma de calcular las cargas sobre ellos debe hacerse a través de ensayos en túnel de viento. El ensayo en túnel de viento virtual mediante un programa CFD puede dar una aproximación a las cargas reales que actúan sobre un edificio de forma curva.

Si bien este trabajo es una primera aproximación al problema, en próximos trabajos se explorará el efecto del espesor del edificio curvo en las cargas sobre el mismo, y su comparación con otro edificio de base rectangular de similares espesores.

Cuando la presencialidad lo permita, se procederá a realizar ensayos físicos en túnel de viento, para verificar experimentalmente los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo es apoyado mediante subsidios de SE-CYT de la Universidad Nacional del Comahue.

REFERENCIAS

- [1] Morosi J., Boldes U., Colman J. (1984). Fluidodinámica del Ambiente. Universidad Nacional de La Plata.
- [2] Schlichting H. (1972). Teoría de la Capa Límite. Urmo S.A. de Ediciones.
- [3] CIRSOC 102 (2005). Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones.
- [4] Lässig J. (2009). Apuntes Ingeniería del Viento. Universidad Nacional del Comahue.