

# Comparación De Coeficientes De Presión Para Cubiertas De Edificaciones Bajas Por Diversas Normas

## Comparison Of Pressure Coefficients For Low-Rise Buildings Rooftops According To Different Standards

**Autor:**

**Manuel Alejandro Amador Núñez<sup>1</sup>**

Ingeniero Civil, estudiante de Maestría de Ingeniería Civil de la CUJAE, calle 114 No.11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, e-mail: [manuel93.ingcivil@gmail.com](mailto:manuel93.ingcivil@gmail.com)

### RESUMEN

Todos los años ocurren fallas en cubiertas de edificaciones bajas debido a la acción de los vientos. Algunos investigadores opinan que estas pérdidas pudieran estar ocasionadas por insuficiencias en las normativas para el cálculo de las edificaciones ante este tipo de cargas. Uno de los aspectos que más influye es la manera de zonificar las superficies de la cubierta para la determinación de los coeficientes de presión externa y la interpretación de los valores máximos y mínimos a emplear para la combinación con las presiones internas. En este artículo se realizó en una primera parte, un análisis cualitativo de los coeficientes de presiones externas e internas de varias normativas y en una segunda etapa se compararon los coeficientes de presión externa que plantea el Eurocódigo con los de la actual norma cubana NC 285: 2003 para cuatro edificaciones con iguales dimensiones en planta y distintas inclinaciones de cubierta. Se calcularon también las acciones globales (combinación de presiones internas y externas) sobre las estructuras objeto de estudio por las dos normativas anteriores. La principal conclusión del estudio es que se recomienda realizar una revisión de los valores de los coeficientes de presión externa de la norma cubana vigente, la evaluación de una zonificación diferente de la cubierta y la inclusión de valores máximos y mínimos para la determinación de la carga de viento más desfavorable al combinar con las presiones internas.

**Palabras claves:** *cargas de viento, coeficientes de presión, cubiertas, edificaciones de baja altura.*

### ABSTRACT

Wind action failures are a common occurrence among low-rise edifications every year. To some specialists the causes might be related to outdated design norms that fail to address those load levels. One of the main issues is the way the roof surface is zoned in order to pinpoint the external pressure coefficients as well as the interpretation of the range of values to be used to combine with the internal pressures. The first part of this paper is devoted to the qualitative analysis of the coefficients of both internal and external pressures according to several standards. Its second part, on the other hand, is dedicated to compare the internal pressure standards as stated in the Eurocode with those on the Cuban Standard NC 285: 2003. To that end we selected four low-rise buildings with the same plan dimensions, but with different rooftop slants. We also calculated the wide-ranging actions (internal and external pressure combinations) acting on the structures according to the stipulated in the two aforementioned standards. As a result, we concluded on the necessity of making a formal revision of the accepted values for the internal pressure coefficients as recorded in the current Cuban Standards. We also agreed to recommend a different rooftop zoning evaluation and the inclusion of lowest and upper limits for the most unfavorable wind-load to be accepted when combined with the internal pressures.

**Keywords:** Wind-loads, pressure coefficients, rooftops, low-rise buildings.

**Nota editorial:** Recibido noviembre 2021; Aceptado diciembre 2021

## 1. INTRODUCCIÓN

Los fallos en las edificaciones bajas han llamado la atención de la ciencia desde el siglo XIX. Los trabajos de Irminger en 1894 y de Kernot en 1893 desarrollados en las primeras aplicaciones de túneles de viento son muestras de esto [1]. Sin embargo, los estudios sobre estas estructuras en túneles de capa límite fueron iniciados con profundidad en la década del 70 por Stathopoulos, cuyo trabajo creó las bases para el tratamiento de estas estructuras en las normas de Estados Unidos ASCE-7 [2] y Canadá NBCC [3]. A partir de aquí, diversas han sido las investigaciones que se han desarrollado sobre esta tipología, destacando los estudios en túneles de viento de capa límite atmosférica [4-6], las mediciones a escala real [7, 8] y los ensayos numéricos a partir del empleo de la dinámica computacional de fluidos [9-12]. Cada tipo estudios anteriores han aportado a la evolución de los coeficientes de presión en los códigos y normas de viento a nivel internacional; sin embargo, todos los años la acción de vientos extremos causa grandes pérdidas económicas debido a los fallos de estas estructuras. Esas construcciones son precisamente las que más abundan en el planeta; por lo tanto, la disminución de su vulnerabilidad ante los efectos del viento es la principal motivación para indagar en su comportamiento.

Los resultados de varias investigaciones [4, 8, 10, 12] muestran que estos fallos pudieran estar asociados con algunas deficiencias de las normas existentes, fundamentalmente en la determinación de los coeficientes de presión para las cubiertas de edificaciones de baja altura; que, de forma particular, son de los elementos con mayores índices de colapsos parciales o totales ante la ocurrencia de vientos extremos.

La forma en la que se comporta el viento al interactuar con una edificación baja por lo general

tiende a pasar por un proceso de separación y readhesión a la superficie [13], este fenómeno depende en gran medida de la intensidad de turbulencia generada por la cercanía a la capa rugosa del terreno y las modificaciones en la inclinación de la cubierta. La distribución de presiones sobre las estructuras experimenta un comportamiento no uniforme, teniendo una fuerte incidencia en la determinación de los coeficientes de presión externa para estas tipologías estructurales. Atendiendo a esto, sería razonable realizar una división por áreas que permitiera acotar mejor las regiones en las cuales se concentran las presiones máximas, para garantizar que no existiesen zonas en las que se subestime el diseño de las estructuras; sin embargo, en varias de las normativas de acción del viento sobre las construcciones no se presenta una marcada discretización de áreas en las cubiertas para la identificación de los coeficientes de presión como por ejemplo la norma cubana NC-285 [14], la norma internacional ISO-4354 [15] y la de Australia y Nueva Zelanda AS/NZS 1170.2-2011 [16]. La norma japonesa AIJ [17] y el en Eurocódigo EN 1991-1-4 [18] sí proponen una distribución por zonas para la obtención de los coeficientes de presión para cada una de las superficies, siendo la segunda de estas la que mayor semejanza tiene en cuanto a la regionalización de la cubierta y la burbuja de separación descrita por Holmes [13], que responde a las zonas de separación y adhesión del flujo de viento.

La presente investigación tiene como objetivos: el estudio cualitativo de las variaciones que existen en los coeficientes de presión externa e interna de varias normas internacionales de referencia con relación a la norma cubana Norma Cubana NC 285 [14] y la comparación cuantitativa de los coeficientes de presión externa y las acciones globales sobre varias estructuras entre la norma cubana y el Eurocódigo EN 1991-1-4 [18].

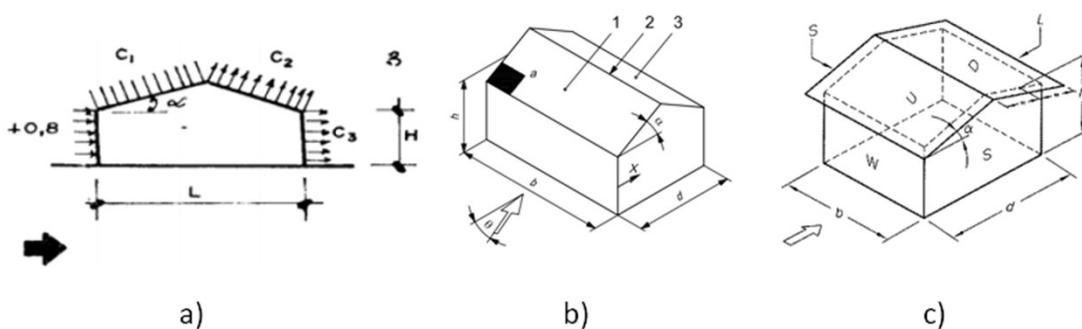
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS COEFICIENTES DE PRESIONES INTERNAS Y EXTERNAS DE VARIAS NORMAS

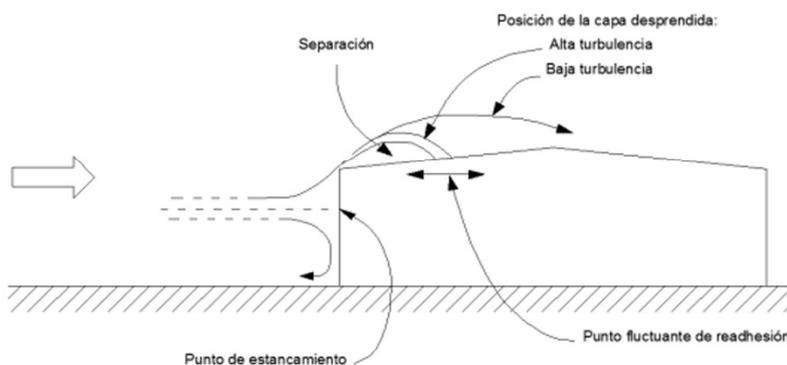
#### Coeficientes de presiones externas

La asignación de los coeficientes de presión externa para las cubiertas de una edificación baja depende de sus características geométricas (relación entre la altura y las dimensiones en planta de la edificación y la pendiente de la cubierta) indistintamente de la normativa que se analice; sin embargo, existe una marcada diferenciación en la forma de regionalizar la cubierta que propone cada normativa. Esta situación conduce a resultados diferentes de las fuerzas de viento para una estructura, si se analiza por un código u otro, aun teniendo las mismas características el viento climático.

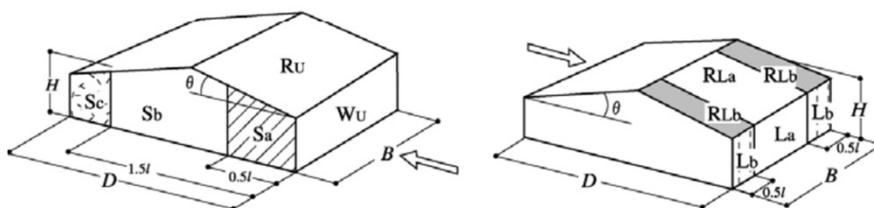
Existen dos enfoques fundamentalmente: las normas que presentan un área predominante (norma internacional ISO-4354 [15] y la de Australia y Nueva Zelanda AS/NZS 1170.2-2011 [16]) o incluso una región única para toda la cubierta como es el caso de la norma cubana NC-285 [14] (ver Figura 1) y un segundo grupo que busca una mayor discretización de la cubierta, en aras de alcanzar mayor semejanza al proceso que experimenta el flujo de viento al interactuar con la estructura (ver figura 2). Este proceso experimentado por el viento se describe como una zona de separación o burbuja en la cual se generan los mayores gradientes de velocidad y turbulencia y el efecto predominante es de succión, y una zona de readhesión. Según lo planteado por Holmes [13], el área de influencia de esta zona depende de la intensidad de turbulencia; sin embargo, varias investigaciones [11, 19] indican que este comportamiento también depende de la inclinación de la cubierta y concluyen que, con el aumento de la pendiente, se produce una disminución en el tamaño de la burbuja. Dada esta disminución deberían esperarse coeficientes en succión en las cercanías al borde de ataque del viento con la cubierta a barlovento, con tendencia a disminuir e incluso pasar a efectuar presiones en la medida que sea más pronunciada la pendiente. En este segundo grupo se encuentran la norma japonesa AIJ [17] (ver figura 3) y el Eurocódigo EN 1991-1-4 [18] (ver figura 4), y como puede apreciarse de las figuras, la distribución por zonas del Eurocódigo, es de todas las planteadas la que mejor refleja el proceso del flujo de viento antes descrito.



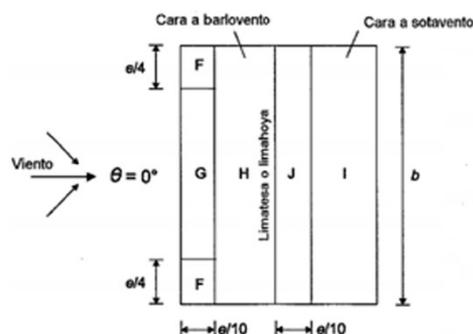
**Figura 1:** Distribución de áreas para la determinación de los coeficientes de presión. Dirección del viento perpendicular a la cumbre. a) NC 285: 2003 [14], b) ISO-4354 [15] y c) AS/ NZS 1170.2-2011 [16]



**Figura 2:** Patrón de flujo en un edificio de baja altura con cubierta inclinada



**Figura 3:** Distribución de áreas para la determinación de los coeficientes de presión. Dirección del viento perpendicular a la cumbre. AIJ [17]



**Figura 4:** Distribución de áreas para la determinación de los coeficientes de presión. Dirección del viento perpendicular a la cumbre. EN 1991-1-4 [18]

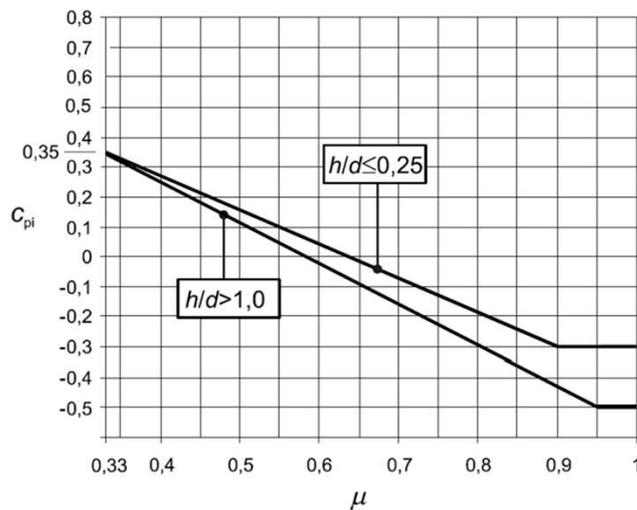
### Coeficientes de presiones internas

Los coeficientes de presión interna de una estructura se definen en función de su permeabilidad y del área de las aberturas externas. En varios de los códigos internacionales [15-18] se definen dos tipos de edificaciones en función de las áreas de aberturas en sus fachadas: estructuras sin fachada dominante y estructuras con fachada dominante. El sentido de influencia de estos efectos se define a partir de la posición de la cara con aberturas con respecto a la dirección de influencia del viento. Las estructuras sin fachadas dominantes son aquellas en las que solo existe una fachada con aberturas y en los casos en los que existan más

superficies abiertas, las áreas de huecos son similares en dimensión. Los valores de presiones internas se definen a partir de valores tabulados en la AIJ [17], ISO-4354 [15] y la AS/ NZS 1170.2-2011[16] o mediante gráficos como es el caso del Eurocódigo EN 1991-1-1-4 [18]. La tabla 1 muestra los valores tabulados para la ISO-4354 [15] que son los mismos que se plantean en la AS/ NZS 1170.2-2011 [16] y la figura 5 presenta el gráfico propuesto por el Eurocódigo EN 1991-1-1-4 [18]. En el caso de la norma japonesa solo se ofrecen valores para las edificaciones sin fachadas dominantes y no se ofrecen muchos detalles por eso se excluyen del análisis.

**Tabla 1:** Coeficientes de presión interna propuestos por la ISO-4354 y la AS/ NZS 1170.2-2011 para estructuras sin fachada dominante. Modificado de [15]

Condición	Cpi
<b>Una pared permeable, el resto impermeable</b>	
1. Pared a barlovento permeable	0,6
2. Pared a barlovento impermeable	-0,3
<b>Dos o tres paredes permeables, el resto impermeable</b>	
1. Pared a barlovento permeable	-1    0,2
2. Pared a barlovento impermeable	-0,3
<b>Todas las paredes igualmente permeables</b>	-0,3    0
<b>Todas las paredes impermeables</b>	-0,2    0



**Figura 5:** Gráfico de presiones internas propuesto por la EN 1991-1-1-4 [18]

Las estructuras con fachadas dominantes son aquellas que presentan una cara con área de aberturas considerablemente mayor al área del resto de aberturas de la edificación. Los valores de coeficientes de presión interna se definen a partir de la relación que existe entre estas áreas abiertas, y dependen también de los valores de presión externa de la superficie. La tabla 2 muestra los valores propuestos por la ISO-4354 [15] y la AS/ NZS 1170.2-2011 [16], mientras que en la tabla 3 se muestran los propuestos por el Eurocódigo EN 1991-1-1-4 [18].

**Tabla 2:** Coeficientes de presión interna propuestos por la ISO-4354 y la AS/ NZS 1170.2-2011 para estructuras con fachada dominante. Modificado de [15]

Ubicación de la fachada dominante	Relación entre el área de aberturas de la fachada dominante y el resto de las aberturas de la edificación				
	$\leq 0,5$	1	2	3	$\geq 6$
Pared a barlovento	-0,3 0	-0,1 0,2	0,7(Cpe)	0,85(Cpe)	(Cpe)
Pared a sotavento	-0,3 0	-0,3 0	1,3(Cpe)	1,1(Cpe)	(Cpe)
Pared lateral	-0,3 0	-0,3 0	(Cpe)	(Cpe)	(Cpe)
Cubierta	-0,3 0	-0,3 0,15(Cpe)	(Cpe)	(Cpe)	(Cpe)

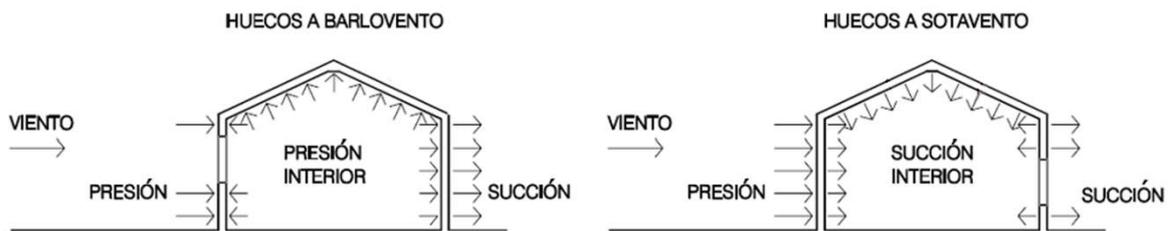
**Tabla 3:** Coeficientes de presión interna propuestos por la EN 1991-1-1-4 para estructuras con fachada dominante. Modificado de [18]

Condición	Cpi
Cuando el área de las aberturas de la cara dominante es el doble del área de las aberturas de las caras restantes	0,75*Cpe
Cuando el área de las aberturas de la cara dominante es al menos 3 veces el área de las aberturas en las caras restantes	0,9*Cpe

En el caso de la norma cubana no se definen fachadas dominantes, los valores de los coeficientes de presión interna se determinan en función de la permeabilidad ( $\mu$  %) como se muestra en la tabla 4. La permeabilidad se define como el porcentaje que ocupan las aberturas del área total de la fachada. Según el grado de permeabilidad de las paredes, se consideran dos tipos de edificaciones: parcialmente abiertas ( $\mu$  entre el 2% y el 35%) y abiertas ( $\mu$  mayor que 35%). Al igual que en el resto de las normas, el sentido de la fuerza a ubicar depende de la posición de las aberturas con respecto a la dirección del viento, como se muestra en la figura 6.

**Tabla 4:** Coeficientes de presión interna propuestos por la NC 285: 2003. Modificado de [14].

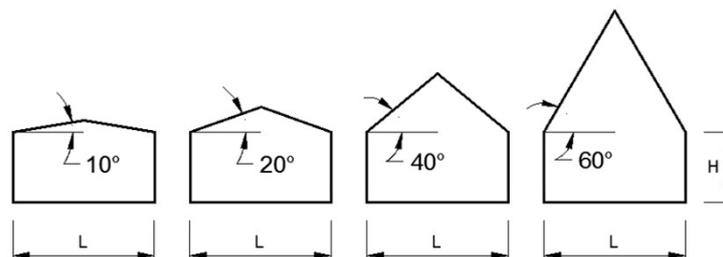
Permeabilidad $\mu\%$	Coefficiente de forma interior, $C_i$ .
menor de 2	-
2 a 4	0,2
5 a 10	0,3
11 a 20	0,4
21 a 29	0,5
30 a 35	0,6
mayor de 35	abierto



**Figura 6:** Acciones interiores alternativas para una misma dirección del viento en edificios abiertos.

## 2.2. Estudio comparativo entre los coeficientes del Eurocódigo y la norma cubana NC 285

En esta parte de la investigación se analizaron las diferencias entre los coeficientes de presión externa y las acciones globales sobre las estructuras (combinación de presiones internas y externas) a partir de aplicar la norma cubana NC 285 y el Eurocódigo. Se seleccionaron cuatro edificaciones con iguales dimensiones en planta e inclinaciones de cubierta diferentes de 10°, 20°, 40° y 60° y relaciones de H/L (elevación de muros y longitud paralela al viento) equivalente a 0,5 como muestra la figura 7.



**Figura 7:** Geometría de la estructura para la determinación de los coeficientes de presión.

La norma cubana propone valores únicos de presión para cada superficie de la edificación. Como se observó en la figura 1a, la norma identifica los coeficientes de presión de las cubiertas a barlovento y sotavento como C1 y C2 respectivamente. Los valores de los coeficientes de presión se muestran en la tabla 5 y en ambos casos (C1 y C2) dependen de la relación entre H y L (elevación de muros y longitud en la dirección del viento). El valor del coeficiente C1 toma en cuenta la inclinación de la cubierta, pero en el caso de C2 el valor es el mismo indistintamente de la pendiente, lo cual no refleja el comportamiento de la burbuja de Holmes.

**Tabla 5: Coeficientes de presión externa de la norma cubana. Modificado de [14]**

Cubierta	Pendiente	H/L			
		0	0,5	1	≥2
C1	0°	0	-0,6	-0,7	-0,8
	20°	0,2	-0,4	-0,7	-0,8
	40°	0,4	0,3	-0,2	-0,4
	60°	0,8	0,8	0,8	0,8
C2		-0,4	-0,4	-0,5	-0,8

El Eurocódigo, a diferencia de la norma cubana, presenta dos valores de presión para cada zona, como se observa en la tabla 6, fundamentado en que el comportamiento turbulento del viento para las edificaciones bajas provoca la existencia de presiones positivas y negativas por las fluctuaciones en determinados periodos de tiempo. Esta situación conduce a que exista más

de una combinación a tener en cuenta para analizar el comportamiento del viento sobre la edificación. Como la norma cubana no refleja estas variaciones para una misma superficie, las comparaciones se realizaron solamente para la combinación del Eurocódigo que presentó valores del mismo signo que la norma cubana en función de cada cubierta (sotavento y barlovento).

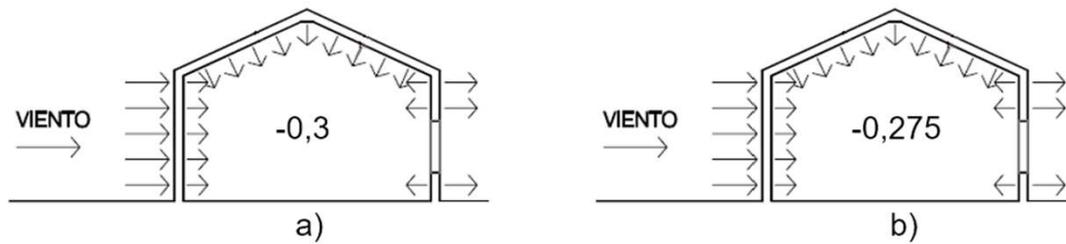
**Tabla 6: Coeficientes de presión externa del Eurocódigo para cubiertas a dos aguas. Modificado de [18].**

Zonas										
Ángulos del techo $\alpha$	Zonas cuando el viento está por 0°									
	F		G		H		I		J	
	Cpe, 10	Cpe, 1	Cpe, 10	Cpe, 1	Cpe, 10	Cpe, 1	Cpe, 10	Cpe, 1	Cpe, 10	Cpe, 1
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6	-0,6	0,2	
	0,0		0,0		0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-1,0	-1,5
	0,2		0,2		0,2		0,0		0,0	0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	
	0,7		0,7		0,4		0,0		0,0	
45°	0,0		0,0		0,0		-0,2		-0,3	
	0,7		0,7		0,6		0,0		0,0	
60°	0,7		0,7		0,7		-0,2		-0,3	
75°	0,8		0,8		0,8		-0,2		-0,3	

Los dos valores de coeficientes de presión que presenta el Eurocódigo para una misma superficie, tienen especial importancia cuando se realiza la combinación con las presiones internas que pueden generarse al estar total o parcialmente abierta la edificación. Para evaluar la importancia de la existencia de varias combinaciones de coeficientes de presión como las que propone el Eurocódigo, se realizó el cálculo de la acción total de las presiones para las edificaciones objeto de estudio definidas.

La norma cubana NC 285 como se mostró en el apartado 2.1, otorga un único valor de coeficiente de presión interna para todas las superficies,

indistintamente del valor de presión externa de la fachada dominante; a diferencia del Eurocódigo donde el coeficiente de presión interna se obtiene a partir de factorizar el valor del coeficiente de presión externa de la fachada dominante de la edificación. Para poder realizar la comparación dadas las particularidades del Eurocódigo, fue establecida como fachada dominante la ubicada a sotavento con un área de huecos dos veces mayor a la del resto de las fachadas, cuya área de huecos representa un 7% del área total de la fachada. En la figura 8 se muestran los valores de coeficientes de presión interna que se obtienen de la NC 285 y Eurocódigo, y como puede apreciarse son muy parecidos.

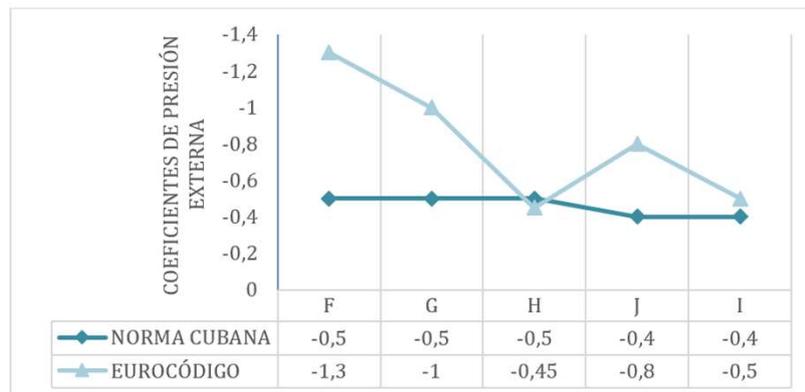


**Figura 8:** Valores de presión para superficies interiores a) norma cubana, b) Eurocódigo.

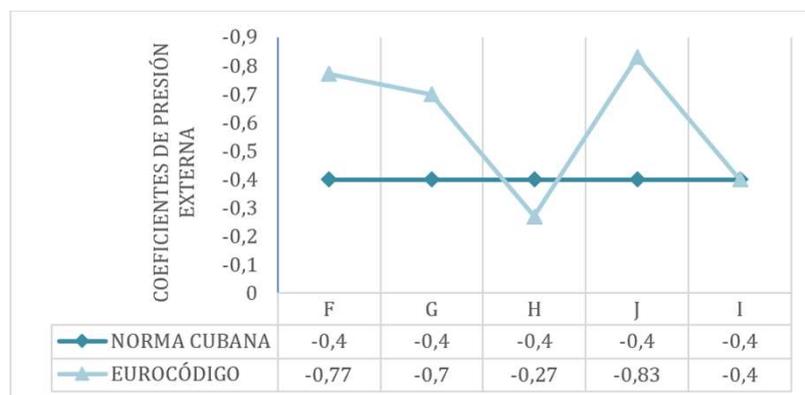
### 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

#### 3.1 Comparación de los coeficientes de presiones externas

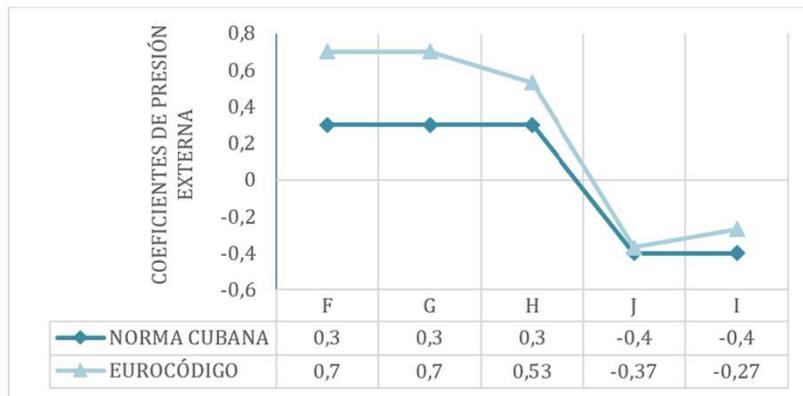
A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la comparación de los coeficientes de presión externa entre ambas normas, para las cuatro estructuras objeto de estudio (figuras 9 a 12). Como la norma cubana presenta un único valor para cada cubierta, barlovento o sotavento, los gráficos están organizados en función de la regionalización que propone el Eurocódigo, donde las superficies F, G y H se corresponden con la cubierta a barlovento y las superficies J e I con la cubierta a sotavento.



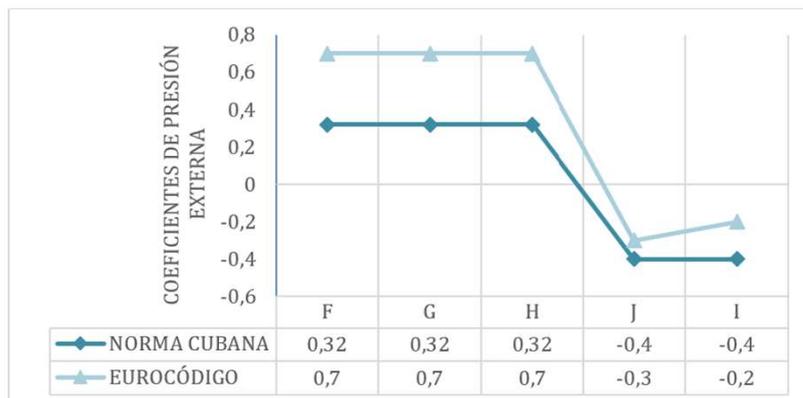
**Figura 9:** Valores de coeficientes de presión externa para estructura con 10°.



**Figura 10:** Valores de coeficientes de presión externa para estructura con 20°.



**Figura 11:** Valores de coeficientes de presión externa para estructura con 40°



**Figura 12:** Valores de coeficientes de presión externa para estructura con 60°

Se aprecia de todos los gráficos que existen notables diferencias entre ambas normas, indistintamente de la inclinación de la cubierta de la estructura analizada. Estas diferencias se hacen más notables en las cubiertas con menores pendientes (figuras 9 y 10) y en las zonas ubicadas a barlovento, principalmente. Para las inclinaciones de 10° y 20° los coeficientes de la superficie a barlovento son de succión, mientras que los de las inclinaciones de 40° y 60° son de presión. Este comportamiento está asociado al fenómeno descrito de la figura 2, pues al aumentar la pendiente, la burbuja disminuye y por ende las turbulencias causantes de las succiones que experimentan las cubiertas. Sin embargo, para todas las inclinaciones coincide que en esta cubierta los coeficientes que propone el Eurocódigo son predominantemente mayores (hasta un 62% en el caso de las superficies F y G).

En la cubierta a sotavento (superficies J e I) los valores son de succión en todos los casos, y de forma similar a lo que sucede con la cubierta a barlovento, las mayores diferencias entre los valores de ambas normativas se presentan para las inclinaciones de 10° y 20°. Como se expresó antes, el coeficiente C2, de

la norma cubana no varía en función de la pendiente, lo cual contradice el comportamiento observado del viento en función de la inclinación y el tamaño de la zona de separación, y acentúa las diferencias con relación a la norma europea. Los valores que propone el Eurocódigo, como se aprecia de las figuras (9 y 10) llegan a ser dos veces mayores en la superficie J que los de la norma cubana.

### 3.2 Comparación de los coeficientes de presiones globales

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de la de las acciones globales, coeficientes de presión externa combinados con los de presión interna por ambas normativas estudiadas. Las figuras de la 13 a la 16, muestran los valores de la comparación para las cubiertas de 10°, 20°, 40° y 60° respectivamente. En el Eurocódigo existen dos valores de presiones externas a considerar para cada inclinación de cubierta, como se evidenció de la tabla 6, lo que arroja varias combinaciones a realizar con relación a las presiones internas. Los resultados que se muestran a continuación son los más desfavorables de todas las combinaciones realizadas.

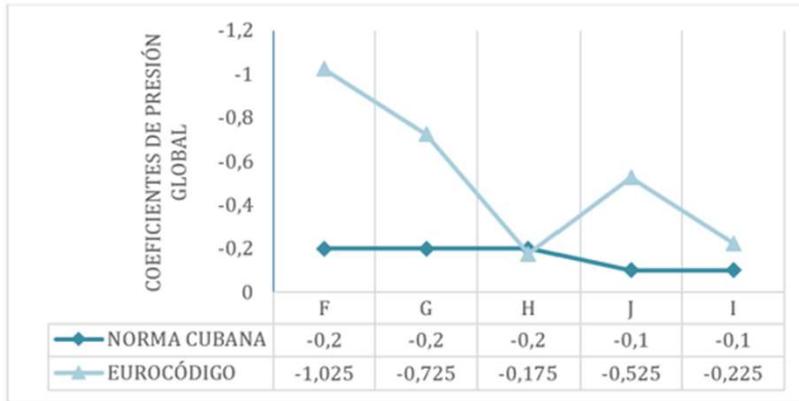


Figura 13: Valores de coeficientes de presión global para estructura con 10°

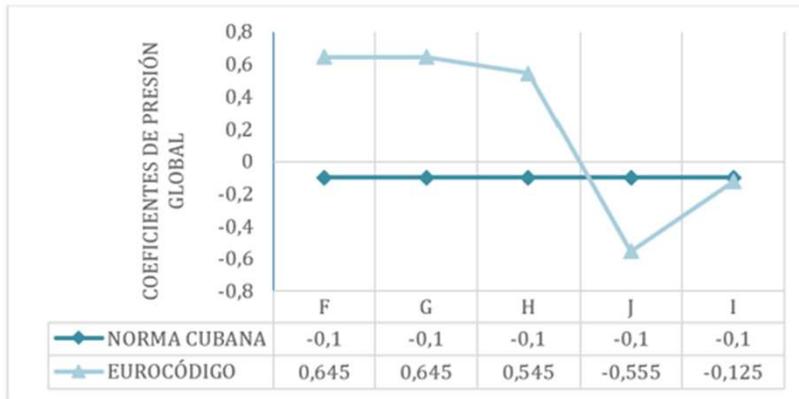


Figura 14: Valores de coeficientes de presión global para estructura con 20°

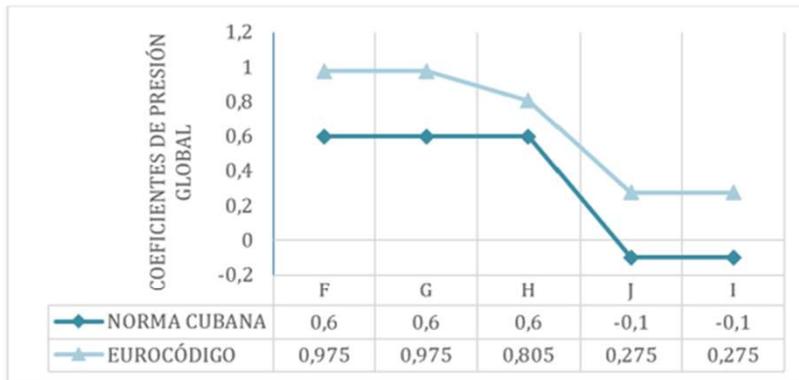


Figura 15: Valores de coeficientes de presión global para estructura con 40°

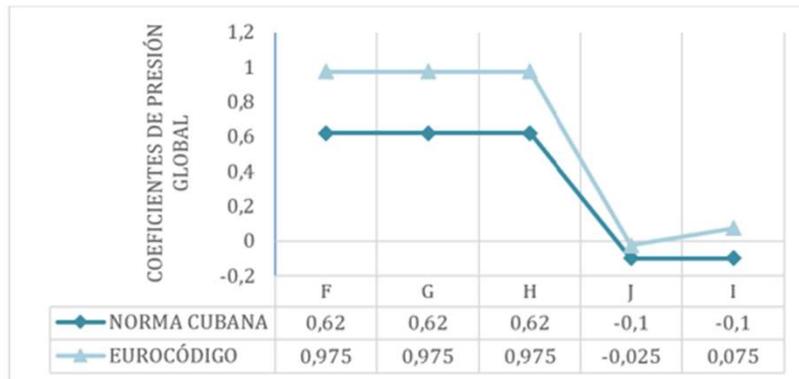


Figura 16: Valores de coeficientes de presión global para estructura con 60°

De forma general, como sucedió con los coeficientes de presiones externas, el análisis de las acciones globales también arroja que el Eurocódigo es el que genera predominantemente las acciones más desfavorables sobre las estructuras analizadas y estas diferencias se localizan en mayor proporción también, en la cubierta a barlovento y para las inclinaciones de cubierta de 10° y 20°. El efecto de las presiones internas provoca modificaciones en los valores de presión global sobre las estructuras e incluso su influencia en la edificación puede contrarrestar o favorecer el efecto predominante de las presiones externas y generar cambios de signos en las acciones predominantes. Sin embargo, los valores de los coeficientes de presión interna a combinar con los externos no tienen una variación considerable entre una norma y otra como se apreció en la figura 8. Se infiere del análisis, que las diferencias más importantes son ocasionadas por la proposición de varios coeficientes de presión externa para una misma superficie que presenta el Eurocódigo (que pueden ser positivos y negativos), con relación a la norma cubana. Este comportamiento se evidencia fundamentalmente en la cubierta a barlovento para las edificaciones con

20° y 40° de inclinación. En estos casos los valores más desfavorables que propone la norma cubana son de succión mientras que los propuestos por Eurocódigo son de presión.

Las edificaciones bajas con cubiertas a dos aguas son de las tipologías constructivas más empleadas en Cuba. A lo largo del territorio nacional pueden ser utilizadas como naves industriales para el almacenamiento y elaboración de numerosos artículos y como viviendas, principalmente en las zonas rurales. De manera general, estas edificaciones emplean elementos ligeros para las soluciones de cubierta lo cual aumenta su vulnerabilidad ante la influencia de los fuertes vientos. Los principales daños que se registran en algunas de estas estructuras se localizan en la cubierta a barlovento, y es precisamente la región donde se observan las mayores diferencias entre los coeficientes que propone el Eurocódigo y los de la norma cubana. En la figura 17 se observa cómo la zona más comprometida es la ubicada más cerca del borde de ataque del viento (superficies F y G). En la figura 18 se observa el comportamiento simultáneo de las presiones internas y externas al existir aberturas en las fachadas.



**Figura 17:** Daños en la cubierta del Aeropuerto Abel Santamaría de Santa Clara tras el paso de una tormenta [20]



**Figura 18:** Daños en viviendas con cubiertas ligeras en Cuba [21]

## 4. CONCLUSIONES

El comportamiento del flujo del viento sobre las estructuras bajas tiene como principio la formación de una zona de separación o burbuja en la cual se encuentran las mayores fluctuaciones en los valores de los coeficientes de presión. Debido a la no uniformidad en la distribución de presiones sobre una misma superficie de cubierta, el Eurocódigo propone una zonificación por franjas que se asemeja al comportamiento que experimenta el viento para este tipo de edificaciones. Distintos códigos internacionales, en especial la vigente norma cubana para el cálculo de viento NC 285: 2003 no presenta este tipo de distribución. En este estudio se realizó una comparación de los valores de coeficientes de presión externa que propone cada uno de estos códigos para cuatro edificaciones con relación de H/L equivalente a 0,5 e inclinaciones de cubierta de 10°, 20°, 40° y 60°. Los resultados evidenciaron que los valores de los coeficientes de presión externa propuestos en la norma cubana difieren considerablemente de los del Eurocódigo y en su mayoría son inferiores, llegando en algunos casos a ser la mitad del valor recomendado por la norma europea. Como la zona de separación y readhesión que experimenta el flujo cuando interactúa con la estructura se asemeja más a la distribución de los coeficientes que propone el Eurocódigo, podría indicar que algunas superficies de las cubiertas no estuviesen adecuadamente diseñadas con la norma cubana y por lo tanto fuese mayor su vulnerabilidad estructural frente a las acciones del viento. Las imágenes de estructuras falladas durante el paso de fuertes vientos en Cuba apoyan la suposición anterior. Los valores de los coeficientes globales resultantes de la combinación de las presiones externas con las internas que se derivan de la aplicación de la norma cubana, también se encuentran, para la mayoría de las superficies, por debajo de los que se obtienen cuando se aplica el Eurocódigo; sin embargo, el valor

del coeficiente de presión interna no varía considerablemente entre las dos normas para los casos de estudios analizados. Los resultados obtenidos indicaron que la combinación con las presiones internas de acuerdo con la aplicación del Eurocódigo puede generar variaciones, no solo en la magnitud, sino también en el tipo de presión a considerar sobre la superficie y que las diferencias están ocasionadas, en mayor medida, por la presencia de valores fluctuantes de presiones externas para una misma superficie. De manera general, se recomienda una revisión de los valores de los coeficientes de presión externa e interna de la norma cubana vigente, la evaluación de una zonificación diferente de la cubierta y la inclusión de valores máximos y mínimos para la determinación de la carga de viento más desfavorable al combinar con las presiones internas.

- [1] E. Simiu and R. H. Scanlan, "Wind effects on structures: fundamentals and applications to design," Third Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [2] ASCE-10, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers (ASCE), 2010.
- [3] T. Stathopoulos, "Wind Engineering and Building Aerodynamics (BLDG 6071)," 2018.
- [4] M. Gierson, B. Phillips, and D. Duthinh, "Evaluation of ASCE 7-10 wind velocity pressure coefficients on the components and cladding of low-rise buildings using recent wind tunnel testing data," in 6th Int. Conf. on Advances in Experimental Structural Engineering, 2015.
- [5] P. L. Fernández-Cabán and F. J. Masters, "Effects of freestream turbulence on the pressure acting on a low-rise building roof in the separated flow region," *Frontiers in Built Environment*, vol. 4, p. 17, 2018.
- [6] M. Aldoum, "Wind Loads on Low-slope Roofs of Low-rise and Mid-rise Buildings with Large Plan Dimensions," Master Thesis, Department of Buildings, Civil Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montréal, Quebec, Canada, 2018, <https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/984316/>
- [7] J. Li, Q. Li, and S. Hu, "Monitoring of wind pressures on gable roof of a low-rise building during tropical cyclones and comparisons with wind tunnel test results," *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 26, no. 8, p. e2380, 2019.
- [8] R. Hoxey, A. Robertson, B. Basara, and B. Younis, "Geometric parameters that affect wind loads on low-rise buildings: full-scale and CFD experiments," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 50, pp. 243-252, 1993.
- [9] M. Ricci, L. Patruno, and S. De Miranda, "Wind loads and structural response: benchmarking LES on a low-rise building," *Engineering Structures*, vol. 144, pp. 26-42, 2017.
- [10] N. S. Fouad, G. H. Mahmoud, and N. E. Nasr, "Comparative study of international codes wind loads and CFD results for low rise buildings," *Alexandria engineering journal*, vol. 57, no. 4, pp. 3623-3639, 2017.
- [11] M. Atmaca, "Wind Tunnel Experiments and CFD Simulations for Gable-Roof Buildings with Different Roof Slopes," *Acta Physica Polonica, A.*, vol. 135, no. 4, 2019.
- [12] H. Zeyrek and S. Bekiroğlu, "Assessment of wind pressure by eurocode-1, ts 498 and cfd analyses for double-sloped roof building," *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2019.
- [13] J. D. Holmes, "Wind loading of structures," ed. T.F. e-Library. New York, 2007.
- [14] NC-285: 2003, "Carga de viento. Método de cálculo", ed. Cuba, 2003.
- [15] ISO-4354, "Wind action on structures," ed. Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2009.
- [16] AS/NZS 1170.2:2011, "Structural Design actions, Part 2: Wind Actions," Australian/New Zealand Standard, 2011.
- [17] AIJ, "RLB Recommendations for loads on buildings. Structural Standards Committee," Architectural Institute of Japan. 2004.
- [18] EN 1991-1-4, "Eurocode 1: Actions on structures, General actions, Part 1-4: Wind actions," European Committee for Standardization: 2004.
- [19] F. Xing, D. Mohotti, and K. Chauhan, "Study on localised wind pressure development in gable roof buildings having different roof pitches with experiments, RANS and LES simulation models," *Building and Environment*, vol. 143, pp. 240-257, 2018.
- [20] L. Martínez. (2019, apr 29). Bohemia [Online]. Available: <http://bohemia.cu/>.
- [21] G. Veloz. (2021, Oct 6). Granma [Online]. Available: <https://www.granma.cu/>