

Análisis de las acciones variables de viento y nieve en construcciones industriales de pórticos metálicos

Luis Miguel Serna Jara, José Antonio Flores Yepes y Alexandra Baños Foss

Variables Analysis of Shares by Wind and Snow in Industrial Buildings with Stell Structure

RESUMEN

En el presente artículo se realiza el análisis del pórtico tipo a diferente luz de una nave de estructura metálica de perfil laminado y sección constante. Se evalúan los resultados para diferentes situaciones de acciones variables según el Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la Edificación DB-AE, del Código Técnico de la Edificación (CTE) y más concretamente para la acción del viento a distintas velocidades (26, 27 y 29 m/s) según zona de actuación A, B o C, respectivamente. Además, se analiza la influencia en el resultado de la acción variable de la nieve, en función de la altitud, y si es inferior o superior a 1.000 m sobre el nivel del mar. El cálculo se realiza con herramienta informática de la empresa Cype Ingenieros.

Recibido: 21 de mayo de 2015
Aceptado: 23 de julio de 2015

ABSTRACT

In this article it is carried out the analysis of the gantry with different intensity of light in a plant with metal laminate structure and constant section. Results for different situations constant section of variable actions are performed according to the Basic Document Security in Building Structural Actions DB-AE, from the Technical Code of Construction (CTE), and more specifically to the action of wind at different speeds (26, 27 and 29 m/s) of action by zone A, B, and C, respectively. Moreover, the other variable load action is snow, depending on the altitude, if lower than 1,000 m above sea level. The tool we use for this will be free software Generador de Pórticos and Metal 3D, from CYPE Ingenieros.

Received: May 21, 2015
Accepted: July 23, 2015

Palabras clave

Pórticos, edificación, naves industriales, viento, nieve

Keywords

Gantries, building, industrial plants, wind, snow



Foto: Yuangeng Zhang / Shutterstock

Introducción

En la actualidad podemos observar que en el ámbito de las construcciones de naves metálicas industriales se realizan mediante pórticos rígidos de sección constante, dejando relegado a un segundo papel la construcción a base de cerchas, solo para casos específicos, como para cámaras de refrigeración, congelación, etc.; pero esto es otro análisis que se puede realizar para posteriores artículos, la idoneidad de utilizar un sistema estructural u otro y, de hecho ya hay estudios sobre la tipología estructural que están en función de criterios de diseño, tipo de uso y presupuesto.

Este análisis trata de ver cómo afectan las cargas variables de viento y nieve que se producen en un pórtico tipo de una nave industrial para distintas situaciones de carga en función del emplazamiento y la cota de nieve.

Objetivo

El objetivo del estudio que se presenta en este artículo es realizar una comparación en función de los kilos de acero y volumen de hormigón, dado que la evaluación económica depende del precio del acero y hormigón, y el objeto de todo gran proyectista es

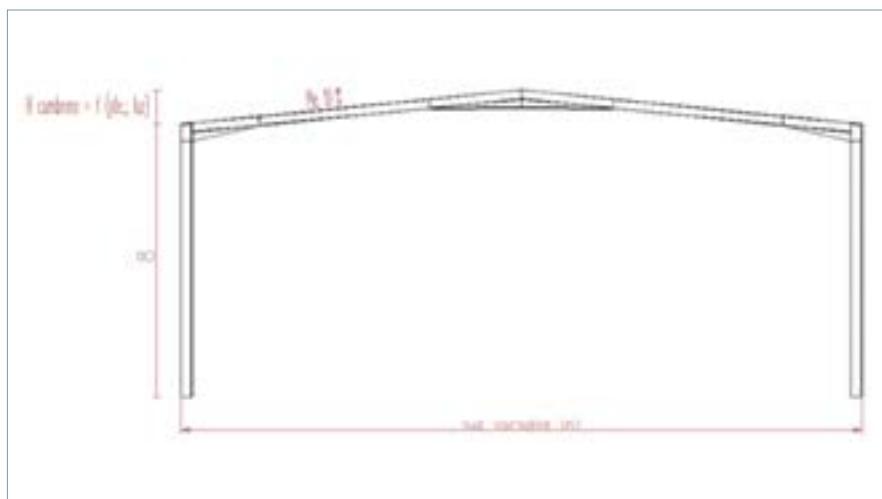


Figura 1. Pórtico tipo empleado en el estudio.

optimizar los proyectos que diseña. Estos variarán según el emplazamiento, dado que el análisis se realiza para cuatro emplazamientos distintos de España como son Córdoba, Murcia, Santander y Ávila.

Métodos

Diseño de la estructura

Los parámetros dimensionales del pórtico que se han fijado son: la altura de pilar (8 metros) y la pendiente

(10%). Las luces de los pórticos serán variables, se realizará el estudio para luces de 10, 20, 30 y 40 metros, como se muestra en la figura 1.

La cubierta se ha considerado una cubierta tipo panel sándwich. Las correas que sustentan la cubierta se han considerado de acero conformado en frío, de la serie ZF, por ser mejor su relación resistencia/peso. El pórtico se ha dimensionado con perfiles laminados de sección constante de la serie

Emplazamiento	Zona a efectos de carga variable de viento según DB-AE. Anejo D	Zona a efectos de carga variable CTE de nieve según DB-SE
Córdoba	A	$\leq 1.000 \text{ m} ; \geq 1.000 \text{ m}$
Murcia	B	$\leq 1.000 \text{ m} ; \geq 1.000 \text{ m}$
Santander	C	$\leq 1.000 \text{ m} ; \geq 1.000 \text{ m}$
Ávila	D	$\geq 1.000 \text{ m}$

Tabla 1. Emplazamiento del pórtico tipo.

Acción	Tipo	Objeto	Peso (kN/m^2)
Permanente	Peso propio	Cubierta a base de panel sándwich	0,15
Variable	Sobrecarga de uso	G1, cubierta accesible únicamente para conservación con inclinación inferior a 20 grados	0,40*

*Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables; es decir, nadie va a acceder a labores de conservación de cubierta en un día de mucho viento ni con la cubierta nevada

Tabla 2. Acciones constantes consideradas para el cálculo del pórtico tipo.

Acción variable del viento	Zona Eólica	Grado de Aspereza	Periodo de servicio (años)	Profundidad de la nave (m)	Huecos	Tipo cubierta	Pte. (%)
Córdoba	A	IV. Zona urbana, industrial o forestal	50	25	No*	2 aguas	10
Murcia	B						
Santander	C						
Ávila	A						

*No se consideran huecos, dado que el estudio y análisis se realizan sobre el pórtico tipo

Tabla 3. Parámetros de la acción variable de viento.

Acción variable nieve	Zona clima invernal	Grado de aspereza	Altitud topográfica (m)	Profundidad nave (m)	Resaltos en cubierta	Exposición al viento
Córdoba	6	IV. Zona urbana, industrial o forestal	100	25	No	Normal
Murcia	6		40			
Santander	1		0			
Ávila	3		1130			

Tabla 4. Parámetros de la acción variable de nieve.

ELU de rotura. Hormigón: EHE-08-CTE. Persistente o transitoria					
		Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
		Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)		1,000	1,350	-	-
Sobrecarga (Q)		0,000	1,500	1,000	0,700
Viento (Q)		0,000	1,500	1,000	0,600
Nieve (Q)		0,000	1,500	1,000	0,500

Tabla 5. Coeficientes de estado límite último de rotura del hormigón.

ELU de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-08 / CTE DB-SE C persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)	1,000	1,600	-	-
Sobrecarga (Q)	0,000	1,600	1,000	0,700
Viento (Q)	0,000	1,600	1,000	0,600
Nieve (Q)	0,000	1,600	1,000	0,500

Tabla 6. Coeficientes de estado límite último de rotura del hormigón en cimentaciones.

ELU de rotura. Acero laminado: CTE DB-SE A persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)	0,800	1,350	-	
Sobrecarga (Q)	0,000	1,500	1,000	0,700
Viento (Q)	0,000	1,500	1,000	0,600
Nieve (Q)	0,000	1,500	1,000	0,500

Tabla 7. Coeficientes de estado límite último de rotura del acero laminado.

Desplazamientos. Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (g)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1,000	1,000
Sobrecarga (Q)	0,000	1,000
Viento (Q)	0,000	1,000
Nieve (Q)	0,000	1,000

Tabla 8. Coeficientes de desplazamiento.

Deformaciones	
Límite de la flecha	L/300
Nº de vanos correas de cubierta	3 o más
Tipo de fijación correas de cubierta	Rígida

Tabla 9. Límite de deformaciones.

Correas de cubierta																
Emplazamiento	Zona Eólica	Cota inferior a 1.000 m	Cota superior a 1.000 m	Tipo de cubierta	Pendiente (%) 10	Luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbreña (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m²)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m²)	Tipo de correa	Peso correas (kp/m)	Peso superficial (KN/m²)	Separación de correas (m)	Nº de correas	
Córdoba	A	x		2 aguas	10	10	8	8,5	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	ZF 250x2,5	67,57	0,07	1,5	8		
			x							ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,7	8		
Murcia	B	x		2 aguas	10	20	8	9		ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,6	8		
			x							ZF 200x3,0	88,81	0,09	1,2	10		
Santander	C	x		2 aguas	10	30	8	9,5		ZF 300x2,5	75,42	0,07	1,6	8		
			x							ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,4	8		
Ávila	A		x	0,15 (Panel sandwich)	10	40	8	10		ZF 225x3,0	75,75	0,07	1,5	8		
Córdoba	A	x								ZF 225x2,5	95,47	0,05	2	12		
			x							ZF 200x2,5	104,52	0,05	1,7	14		
Murcia	B	x								ZF 225x3,0	113,63	0,06	2,2	12		
			x							ZF 200x3,0	106,57	0,05	1,9	12		
Santander	C	x								ZF 250x3,0	120,7	0,06	2,2	12		
			x							ZF 200x2,0	120,21	0,06	1,1	20		
Ávila	A		x							ZF 180x2,5	110,71	0,05	1,2	18		
Córdoba	A	x		0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	10	30	8	9,5		ZF 40x2,5	171,7	0,06	1	32		
			x							ZF 180x2,0	128,93	0,04	1,2	26		
Murcia	B	x								ZF 180x2,0	148,77	0,05	1,1	30		
			x							ZF 180x2,5	159,92	0,05	1,3	26		
Santander	C	x								ZF 180x2,5	184,52	0,06	1,1	30		
			x							ZF 200x2,0	144,26	0,05	1,3	24		
Ávila	A		x							ZF 200x2,0	120,21	0,04	1,6	20		
Córdoba	A	x		0,15 (Panel sandwich)	10	40	8	10		ZF 140x2,5	203,9	0,05	1,1	38		
			x							ZF 180x2,0	158,68	0,04	1,3	32		
Murcia	B	x								ZF 180x2,0	178,52	0,04	1,2	36		
			x							ZF 200x2,0	156,28	0,04	1,6	26		
Santander	C	x								ZF 180x2,5	221,42	0,05	1,2	36		
			x							ZF 200x2,5	179,17	0,04	1,8	24		
Ávila	A		x							ZF 180x2,0	158,68	0,04	1,3	32		

Tabla 10. Resultados de correas de cubierta.

Estructura																
Emplazamiento	Zona Eólica	Cota inferior a 1.000 m	Cota superior a 1.000 m	Tipo de cubierta	Pendiente (%)	Luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbre (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m ²)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m ²)	Tipo Perfil Pilar	Tipo Perfil Dintel	Cartelas Dintel	Peso Pilares y Dinteles (Kp)	Peso Placas de Anclaje (Kp)	Peso pernos de Placas de Anclaje (Kp)
Córdoba	A	x		2 aguas	10	10	8	8,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 270	IPE 200	No	801,34	8	20,78
			x								IPE 270	IPE 200	No	801,34	8	20,78
Murcia	B	x		2 aguas	10	20	8	9	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 270	IPE 200	No	801,34	8	22,26
			x								IPE 270	IPE 200	No	801,34	10	20,78
Santander	C	x		2 aguas	10	30	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 270	IPE 200	No	801,34	8	32,73
			x								IPE 270	IPE 200	No	801,34	8	32,73
Ávila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 270	IPE 240	No	884,97	8	20,78
Córdoba	A	x									IPE 330	IPE 270	Sí	1672,84	12	26,02
			x	2 aguas	10	20	8	9	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 330	IPE 330	No	1773,98	14	23,8
Murcia	B	x									IPE 330	IPE 270	Sí	1672,84	12	23,8
			x								IPE 330	IPE 330	No	1773,98	12	23,8
Santander	C	x		2 aguas	10	30	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 330	IPE 300	Sí	1838,72	12	35,13
			x								IPE 330	IPE 330	Sí	2036,92	20	35,13
Ávila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 450	IPE 330	Sí	2500,99	18	39,9
Córdoba	A	x									IPE 400	IPE 400	Sí	3684,09	32	44,52
			x	2 aguas	10	20	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 400	IPE 400	Sí	3684,09	26	44,52
Murcia	B	x									IPE 400	IPE 400	Sí	3684,09	30	44,52
			x								IPE 400	IPE 400	Sí	3684,09	26	44,52
Santander	C	x		2 aguas	10	30	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 400	IPE 400	Sí	3900,13	30	49,14
			x								IPE 400	IPE 400	Sí	3900,13	24	49,14
Ávila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 450	IPE 450	Sí	4857,15	20	86,96
Córdoba	A	x									IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	38	86,96
			x	2 aguas	10	20	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	32	90,75
Murcia	B	x									IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	36	86,96
			x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	26	90,75
Santander	C	x									IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	36	94,53
			x								IPE 500	IPE 500	Sí	6409,26	24	94,53
Ávila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	IPE 600	IPE 600	Sí	8541,95	32	105,9

Tabla 11. Resultados de perfiles estructurales

Cimentación															
Emplazamiento	Zona Eólica	Cota inferior a 1.000 m	Cota superior a 1.000 m	Tipo de cubierta	Pendiente (%) 10	Luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbreña (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m²)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m²)	Dimensiones (cm)	Peso Parrilla de armado (Kp)	Volumen de hormigón (m³)	Volumen de hormigón de limpieza (m³)	
Córdoba	A	x		2 aguas	10	10	8	8,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)	185x340x75	168,26	9,44	1,26	
			x								185x340x75	162,43	9,44	1,26	
Murcia	B	x		2 aguas	10	20	8	9	0,15 (Panel sandwich)		185x340x75	162,43	9,44	1,26	
			x								185x340x75	162,43	9,44	1,26	
Santander	C	x		2 aguas	10	30	8	9,5	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)		190x345x75	159,39	9,83	1,31	
			x								190x345x75	159,39	9,83	1,31	
Ávila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)		165x320x70	130,09	7,39	1,06	
Córdoba	A	x									170x345x75	163,5	9,07	1,1	
			x								170x345x75	156,88	8,8	1,17	
Murcia	B	x									190x345x75	159,39	9,83	1,31	
			x								180x345x75	165,22	9,32	1,24	
Santander	C	x									195x375x80	211,99	11,54	1,44	
			x								195x375x80	211,99	11,54	1,44	
Ávila	A		x								175x340x75	154,26	8,93	1,19	
Córdoba	A	x		2 aguas	10	30	8	9,5	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)		175x350x85	184,84	10,41	1,23	
			x								195x360x85	208,56	11,93	1,4	
Murcia	B	x									195x360x85	208,56	11,93	1,4	
			x								195x360x85	208,56	11,93	1,4	
Santander	C	x									195x360x95	521,57	14,26	1,5	
			x								195x360x95	251,57	14,26	1,5	
Ávila	A		x								205x405x100	294,26	16,61	1,66	
Córdoba	A	x		2 aguas	10	40	8	10	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SEAE, categoría G1)		215x425x100	329,87	18,28	1,83	
			x								215x415x105	334,2	18,74	1,78	
Murcia	B	x									215x425x100	329,87	18,28	1,83	
			x								225x425x105	360,07	20,08	1,91	
Santander	C	x									215x425x110	368,59	21,04	1,91	
			x								225x425x110	368,59	21,04	1,91	
Ávila	A		x								225x445x125	441,17	25,03	2	

Tabla 12. Resultados de cimentación.

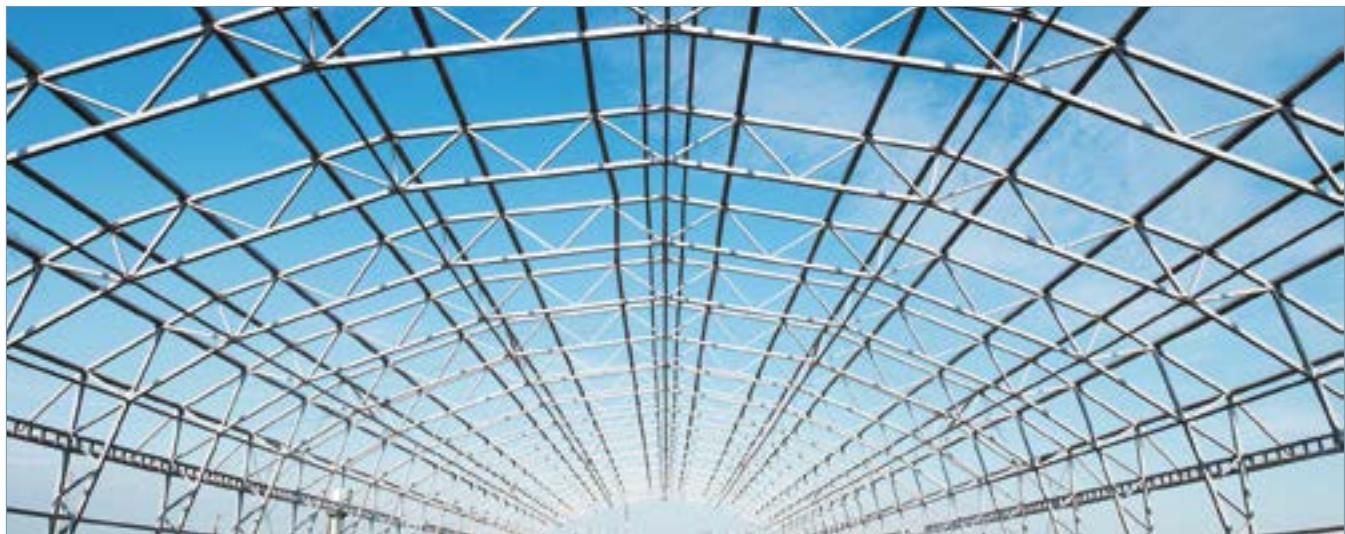


Foto: Dmitry Kalinovsky / Shutterstock.

IPE, porque es la serie que, para un mismo peso, proporciona una mayor resistencia en su plano fuerte. Los dinteles se han acartelado en aquellos casos en los que se conseguía una reducción del perfil.

Los cerramientos de la nave se consideran a base de placas prefabricadas de hormigón que descansarán sobre la viga de atado de zapatas de cimentación. Estas placas arrostrarán el pilar a pandeo, es decir, estas placas limitarán la capacidad de pandeo del pilar, transmitiéndole los esfuerzos de viento que recibe.

La cimentación se realizará mediante zapatas rectangulares excéntricas.

Acciones y parámetros considerados en el cálculo

Para el estudio del pórtico tipo a distintas luces y emplazamientos, se considerará una nave de 25 m de profundidad y una separación entre pórticos de 5 m. El pórtico objeto de estudio se ha ubicado en distintas zonas geográficas de España, así como en distintas cotas sobre el nivel del mar; en la tabla 1 se relacionan las zonas consideradas.

Los parámetros de cálculo de la acción variable de viento a las que se someterá el pórtico según DB-AE del CTE se detallan en la tabla 3.

Los parámetros de cálculo de las acciones variables de nieve a las que se someterá el pórtico según DB-AE del CTE, se detallan en la tabla 4.

Para una categoría de uso G, según el DB-SE, cubiertas accesibles

únicamente para mantenimiento las combinaciones de acciones para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes que utilizar se presentan en las tablas 5 a 9.

Software utilizado para el cálculo

Para el cálculo de las correas metálicas de cubierta se ha empleado el generador de pórticos de CYPE, y para el cálculo de las secciones de pilares y dinteles del pórtico tipo, así como la cimentación, se ha empleado el METAL 3D de CYPE, versión libre.

Conclusiones

A la vista de los resultados se puede apreciar que para la zona eólica A, para luces, por ejemplo, de 10 m se produce un incremento en el peso de las correas de cubierta del 6% con respecto a la cota de nieve inferior y superior de 1.000 m. Para la siguiente luz de 20 m, para la misma zona eólica se produce un incremento del 9,42% en el peso de las correas.

Con respecto al peso del pórtico tipo, se puede observar que para luces de 10 m, las acciones variables de viento y nieve no influyen prácticamente (801,34 kp). Para luces de 20 m se puede apreciar que se produce un incremento no por zona eólica, sino por la cota de nieve superior a 1.000 metros, en un 6%. Para luces de 30 m, la influencia de la carga de viento es más apreciable (zona C, Santander) que respecto a la carga variable de nieve. Con respecto a la luz de 40 m, para el análisis que hemos realizado de las tres

ciudades en cuestión se aprecia que los perfiles son idénticos.

Como apreciación, se puede observar que para la ciudad de Ávila, los perfiles son superiores a la ciudad de Córdoba, que es de zona eólica idéntica para todas las luces del pórtico tipo. Eso es debido a su altitud topográfica por encima de los 1.100 m.

Con respecto a las limitaciones de este estudio, se debería realizar con otro software de análisis de estructuras, como metalpla, tekla, autodesk robot, etc. para corroborar los resultados obtenidos.

Bibliografía

- Código Técnico de la Edificación, CTE, RD 314/2006 CYPE (2010). Software Generador de pórticos y Nuevo Metal 3D. CYPE Ingenieros. EHE 08. Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento.
Flores Yepes, J. A. (2011). Análisis de Estructuras Metálicas. AMV Ediciones ISBN 978-84-96709-63-8.

Luis Miguel Serna Jara

luis_m_serna@hotmail.com
Ingeniero free lance. Murcia

José Antonio Flores Yepes

ja.flores@umh.es;
Doctor ingeniero industrial. Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández (Elche). Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Orihuela, Alicante.

Alexandra Baños Foss

sandy.foss@mivisa.com
Licenciada en Administración y Dirección de Empresas por UMU y Bachelor in Business in Europa por la Manchester Metropolitan University. Account manager.