



Análisis de vigas metálicas utilizadas en correas de cubierta en industrias agroindustriales

Luis M. Serna Jara¹, José A. Flores Yepes¹, Joaquín J. Pastor Pérez¹, Alexandra Baños Foss²

¹ Departamento de Ingeniería de la E.P.S.O. de la Universidad Miguel Hernández; luis.serna@goumh.umh.es

² Profesora Departamento de Comercialización e Investigación de Mercados de la Universidad de Murcia.

Resumen: A la hora de llevar a cabo la construcción de una industria se han de considerar múltiples parámetros y variables, desde el punto de vista del proyectista. Dentro del desarrollo e implementación del diseño y cálculo estructural de una edificación industrial, en el presente artículo nos hemos centrado en las vigas que sustentan la cubierta de la nave industrial y se apoyan sobre los dinteles de los pórticos que conforman la estructura portante de la edificación industrial. En el presente estudio se desarrollarán los cálculos y analizarán los resultados obtenidos sobre una serie de perfiles comerciales utilizados en la construcción de cubiertas de edificios industriales, en concreto se analizarán perfiles de acero conformados: de cajón cuadrado huecos; de cajón rectangular hueco, Omega simples, correas en "U", correas en "C" y correas en "Z". Para el análisis estructural de estas series de perfiles se han fijado unos parámetros de diseño, para unas hipótesis de acciones fijas y variables según establece la normativa actual mediante el Código Técnico de la Edificación, C.T.E. Con este análisis obtendremos una serie de resultados para cada serie de perfiles, que se clasificarán por el peso propio de dicho perfil; seleccionando el perfil de la serie con menor peso por metro lineal; el estudio se implementará para las distintas series de perfiles conformados. Y sobre ellos se analizarán los resultados obtenidos de las 6 series de perfiles comerciales, analizando cuál de los perfiles estructurales de cada serie, para un intervalo de valores admisibles de resistencia estructural, es el óptimo en función de su peso propio; con lo que repercutirá en un descenso del coste general de la construcción de la edificación industrial.

Palabras clave: construcción, estructura, cubiertas, correas, metálicas.

1. Introducción

En este estudio se trata de analizar una serie de perfiles comerciales de acero conformados en frío para las correas de cubierta que se emplean en la construcción de naves industriales, en concreto se analizarán perfiles de acero conformados: de cajón cuadrado huecos; de cajón rectangular hueco, Omega simples, correas en "U", correas en "C" y correas en "Z", que suelen ser las correas más utilizadas para la construcción de cubiertas de naves industriales.

Las correas de cubierta, o vigas de cubierta tiene la finalidad de sustentar los pesos fijos de la cubierta constituidos por la propia cubierta de panel sándwich, chapa grecada, etc.; así como sus elementos de fijación como tornillería; además de los pesos fijos, también han de ser capaces de sustentar las acciones de cargas variables a los que pueda ser sometida dicha cubierta, como son las acciones de viento y nieve en función de la localización y características geográficas donde se ubique la nave industrial, estas acciones tanto fijas como variables y los

estados de combinación de las mismas viene definidos para España, en cuestión, mediante el Documento Básico de Acciones de la Edificación del C.T.E.[1].

A la hora de proyectar una nueva edificación industrial o la rehabilitación de una existente, diversos expertos en el diseño y cálculo de edificaciones industriales, como son el Dr. Jose A. Flores Yepes [2], el Dr. Sisenando C. Morales Palomino [3], han publicado obras en las cuales, desde el punto de vista constructivo, es muy importante que la estructura sea lo más liviana posible al objeto de evitar el exceso de pesos en la misma, y conseguir un ahorro económico en la construcción.

En este estudio, nos hemos centrado en el análisis de estas vigas o correas que sustentan la cubierta, para ello, hemos seleccionado una cubierta de panel sándwich, así, conoceremos la carga fija que actuarán sobre dichas correas que sustentan la cubierta, considerando también las cargas variables según C.T.E. en su documento básico acciones de la edificación. Se empleará para ello un software versión libre, de los muchos que hay en el mercado, para este estudio hemos empleado el Generador de pórticos edición 2018.m de la empresa de software para arquitectura, ingeniería y construcción CYPE, este software en concreto es un generador de geometría de pórticos rígidos y cerchas simples y múltiples, genera automáticamente las cargas de viento y nieve según establece el Código Técnico de la Edificación, C.T.E.; dimensiona y optimiza las correas metálicas de cubierta y laterales de fachada.

El objetivo del estudio que se presenta es realizar una comparación de los diferentes tipos de correas comerciales de acero conformado en frío que se usan en las cubiertas de las edificaciones industriales, con el objeto de estudiar cuál de ellas con unas propiedades mecánicas de resistencia a flexión y compresión similares, es la óptima para conseguir una estructura más liviana, y con ello un mayor ahorro económico a la hora de ejecutar la misma.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología

Para conseguir los objetivos propuestos, se actuará con el fin de obtener un amplio abanico de datos para poder contrastarlos. Se procederá a fijar las variables de diseño de la edificación industrial y la localización geográfica, para que todos los datos paramétricos sean los mismos para el cálculo y análisis de las correas de cubierta.

El análisis lo realizaremos sobre una edificación industrial genérica de estructura metálica de 25 m. de longitud, 20 m de luz, 8 m de altura de pilares y un 10 % de pendiente, una separación de pórticos metálicos de 5 m, Antonio M. Reyes Rodríguez [4], separación usual en edificaciones industriales. La cubierta es de panel tipo sándwich de Arcelormittal [5], 40 mm de espesor, con un intervalo de disposición de las correas de entre 1 y 1,5 metros de separación.

Los huecos de fachada que definiremos para la nave dependerán de varios factores, diseño, uso para el cual se proyecta, etc.; para este estudio definiremos varios huecos en las fachadas, con las siguientes características dimensionales:

Tabla. 1: Parámetros de Diseño, huecos de fachada

Fachada	Hueco	Nº	Dimensiones (m)	Área (m ²)
Frontal	Puerta acceso peatonal	1	1,00 x 2,10	2,10
Frontal	Puerta acceso vehículos	1	3,50 x 3,50	7,00
Frontal	Ventana	1	1,20 x 1,00	1,20
Lateral Derecho	Ventana	2	1,20 x 1,00	2,40
Lateral Izquierdo	Ventana	2	1,20 x 1,00	2,40
Posterior	Ventana	2	1,20 x 1,00	2,40

La localización geográfica de la edificación, se ha fijado en una zona de clima invernal: 6 (Murcia), con una altitud topográfica de 42.00 m, una cubierta sin resaltos, y una exposición al viento normal (zona eólica B) con un grado de aspereza IV, según Documento Básico, Seguridad Estructural, Acciones de la Edificación del C.T.E.[1].

Con estos parámetros de diseño fijados, se obtienen unos valores de las acciones fijas de carga, peso propio sobre la estructura, y de acciones variables de cargas en función de la localización geográfica, debidas a viento y nieve principalmente. El software analiza las combinaciones de las acciones fijas y variables más desfavorables según establece el C.T.E. Con dicho software se obtienen la serie de perfiles conformados en frío que cumplen con la normativa con los parámetros de diseño introducidos, también se obtiene la repercusión del peso de las correas sobre el pórtico que lo sustenta, con esa información podemos elegir el perfil óptimo, que será el de menor peso.

La flecha se ha seleccionado L/300, que viene establecida en el C.T.E. para edificaciones de uso industrial.

Se ha procederá al análisis de los tipos de correa metálica conformada en frío de cajón cuadrado hueco, de cajón rectangular hueco, perfil omega simple y rigidizado; series de perfiles como son correas en "U", correas en "C" y correas en "Z" y en "M".

2.2. *Materiales.*

Los materiales utilizados para el desarrollo de este estudio, junto con sus características técnicas, son:

a.- Panel sandwich, para la formación de cubierta, modelo Ondatherm 1150 es un panel de cubierta para pendientes mínimas del 5%. Fijación oculta mediante tapajuntas para facilitar el montaje y desmontaje. La chapa exterior es de 0,6 mm de espesor con el fin de mejorar la resistencia del panel a las acciones climáticas (viento y nieve), el solape y el amarre de los remates debido a que mejora el atornillado y el transito durante la fase de instalación y posterior mantenimiento. La chapa interior es de 0,4 mm de espesor, con lo que mantenemos el mismo peso, incrementando su resistencia.

Tabla. 2: Datos técnicos, panel sadwich de cubierta

ESPESOR NOMINAL (mm)	TERMICO (W/m ² K)	MASA (KG/m ²)	Volumen Empaquetado (m ² /m ³)
40	0,53	10,5	18

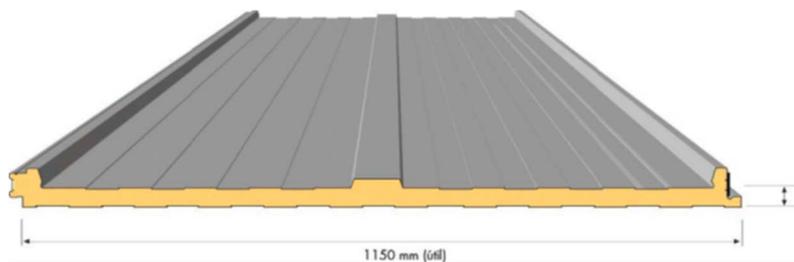


Figura 1: Cubierta de panel sándwich

El panel sándwich para cubierta de espesor 40 mm (figura 1), para nuestro estudio, tiene una carga fija actuando sobre las correas de cubierta, que vendrá dado por el peso propio de la cubierta, más peso propio de tapajuntas de unión y tornillería, más un porcentaje de seguridad.

Tabla 3: Carga fija sobre correas de cubierta

Elementos de Cubierta	Peso(kN/m ²)
Panel sándwich	0,105
Tapajuntas y tornillería	0,015
Seguridad 10%	0,013
Total	0,133
Carga peso propio de cubierta	0,140

b.- Correas de cubierta, perfiles conformados en frío, que se emplean para la sustentación de la cubierta, así como las acciones variables que pueden actuar sobre ella. Las correas que utilizamos en este estudio son:

- Correas tipo Cuadrado Hueco. UNE-EN 10219. [6]. Figura 2.
- Correas tipo Rectangular Hueco. UNE-EN 10219. [6]. Figura 3
- Correas tipo Omega rigidizada. UNE-EN 36-575-79. [7]. Figura 4
- Correas tipo Omega. UNE-EN 36-575-79. [7]. Figura 5
- Perfil Sigma UNE-EN 10219. [6]. Figura 6
- Perfiles abiertos conformados en frío. perfil CF. UNE 36-573-79 [8]. Figura 7
- Perfiles abiertos conformados en frío, perfil UF. UNE 36-572-80.[9]. Figura 8
- Perfiles abiertos conformados en frío, perfil NF. UNE 36-574-79 [10]. Figura 9
- Perfiles abiertos conformados en frío. perfil ZF. UNE 36-576-79 [11]. Figura 10

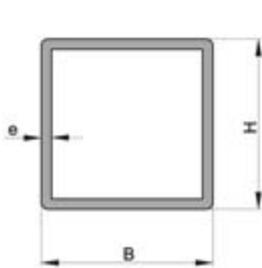


Figura 2: Perfil cuadrado hueco



Figura 3: Perfil rectangular hueco

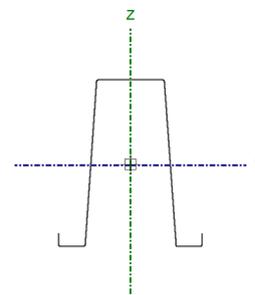


Figura 4: Perfil omega rigidizada

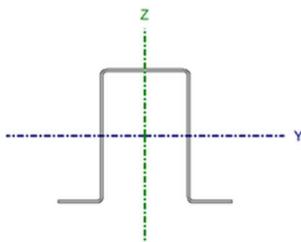


Figura 5: Perfil omega



Figura 6: Perfil M

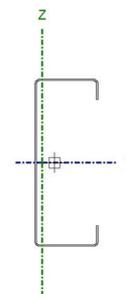


Figura 7: Perfil CF

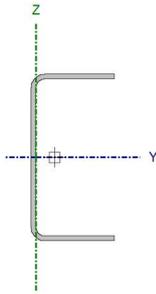


Figura 8: Perfil UF



Figura 9: Perfil Z

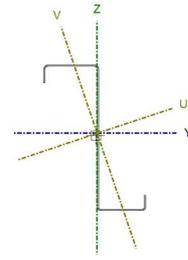


Figura 10: Perfil ZF

2.3. Métodos.

En el apartado de materiales se han establecido las cargas fijas que ha de soportar la cubierta ligera. La categoría de uso es G: Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento y una cota de nieve de altitud inferior o igual a 1000 m; según establece el C.T.E.

Las cargas variables debidas a las acciones de viento establecidas según C.T.E., son las siguientes:

Zona eólica: B

Grado de aspereza: IV. Zona urbana, industrial o forestal

Periodo de servicio (años): 50

Profundidad nave industrial: 25.00

Con huecos:

- Área izquierda: 2.40
- Altura izquierda: 1.70
- Área derecha: 2.40
- Altura derecha: 1.70
- Área frontal: 10.30
- Altura frontal: 1.60
- Área trasera: 2.40
- Altura trasera: 1.70

- 1 - V(0°) H1, Viento a 0°, presión exterior tipo 1 con presión interior
- 2 - V(0°) H2, Viento a 0°, presión exterior tipo 1 con succión interior
- 3 - V(0°) H3, Viento a 0°, presión exterior tipo 2 con presión interior
- 4 - V(0°) H4, Viento a 0°, presión exterior tipo 2 con succión interior
- 5 - V(90°) H1, Viento a 90° con presión interior
- 6 - V(90°) H2, Viento a 90° con succión interior
- 7 - V(180°) H1, Viento a 180°, presión exterior tipo 1 con presión interior
- 8 - V(180°) H2, Viento a 180°, presión exterior tipo 1 con succión interior
- 9 - V(180°) H3, Viento a 180°, presión exterior tipo 2 con presión interior
- 10 - V(180°) H4, Viento a 180°, presión exterior tipo 2 con succión interior
- 11 - V(270°) H1, Viento a 270° con presión interior
- 12 - V(270°) H2, Viento a 270° con succión interior

Las cargas variables debidas a las acciones de nieve, son las siguientes:

Zona de clima invernal: 6 (Murcia)

Altitud topográfica: 42.00 m

Cubierta sin resaltes

Exposición al viento: Normal

Hipótesis aplicadas:

- 1 - Nieve: estado inicial, (H1-Libre H1-Libre) (H1-Libre H1-Libre)
- 2 - Nieve: redistribución 1, (H2-Libre H2-Libre) (H1-Libre H1-Libre)
- 3 - Nieve: redistribución 2, (H1-Libre H1-Libre) (H2-Libre H2-Libre)

Para el cálculo de las propiedades mecánicas de los distintos perfiles empleados en el estudio, hemos utilizado las siguientes expresiones basadas en la normativa vigente, Eurocódigo 3 EN 1993 [12] y CTE DB SE-A [13]:

- Abolladura del alma inducida por el ala comprimida, Eurocódigo 3 EN 1993-1-5 [12]:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad (\text{Expresión 1})$$

Donde:

hw: Altura del alma.

tw: Espesor del alma.

Aw: Área del alma.

Afc,ef: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y \quad (\text{Expresión 2})$$

- Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A) [13]:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad (\text{Expresión 3})$$

Para flexión positiva:

MEd+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

Para flexión negativa:

MEd-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

El momento flector resistente de cálculo Mc,Rd viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad (\text{Expresión 4})$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} \quad (\text{Expresión 5})$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. CTE DB SE-A [13]

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

Para ello, cálculo de las correas metálicas de cubierta, se ha empleado un software informático, el generador de pórticos de la empresa CYPE Ingenieros [14].

Se procedera mediante método utilizado por el Dr. J.A. Flores Yepes [15], para el cálculo de resistencia a flexión en el eje Y, resistencia a flexión en el eje Z, abolladura del alma inducida por el ala comprimida y resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para la serie de perfiles de cada uno de los tipos de correas estudiadas, solo se expone el perfil de la serie óptimo, que cumpla con los requisitos de resistencia y flecha máxima permitida L/300 según los parámetros indicados anteriormente, posteriormente se procederá a la discusión de dichos resultados.

Tabla 4: Resultados de los distintos tipos de perfiles.

Tipo de correas	Dimensiones (mm)	Nº de correas	Separación (m)	* Peso Lineal kN/m	** Peso lineal por correa kN/m	*** Peso superficial kN/m ²
Cuadrado Hueco	100x100x4	20	1.10	2.300	0.115	0.117
Rectangular Hueco	120x80x3	18	1.20	1.580	0.088	0.081
Omega Rigidizado	18.5x6.11	16	1.40	0.964	0.060	0.049
Omega	120x80x40x3	18	1,20	1.580	0.088	0.081
Sigma M	23x70x120x2	20	1.10	1.238	0.062	0.063
CF	160x2	18	1.20	0.848	0.047	0.043
UF	120x4	22	1.00	1.524	0.069	0.078
Z	140x35x4.75	20	1.10	1.420	0.071	0.072
ZF	160x2.0	20	1.10	0.911	0.046	0.046

* Peso Lineal en kN/m de todas las correas que sustentan la cubierta sobre un pórtico.

** Peso lineal en kN/m por correa sobre un pórtico.

*** Peso superficial en kN/m² de las correas sobre un pórtico

En la tabla 5, se representan los porcentajes de variación con respecto al valor mínimo obtenido, tanto para los pesos por metro, como los pesos por unidad de superficie:

Tabla 5: Resultados de los porcentajes de variación de los distintos tipos de perfiles.

Tipo de correas	*	% Variación Peso lineal	***	% Variación Peso superficial kN/m ²
	Peso Lineal KN/m		Peso superficial kN/m ²	
Cuadrado Hueco	2.300	145.20	0.117	7.43
Rectangular Hueco	1.580	73.20	0.081	3.76
Omega Rigidizado	0.964	11.60	0.049	0.62
Omega	1.580	73.20	0.081	3.76
M	1.238	38.97	0.063	2.01
CF	0.848	0.00	0.043	0.00
UF	1.524	67.61	0.078	3.47
Z	1.420	57.25	0.072	2.94
ZF	0.911	6.30	0.046	0.34

* Peso Lineal en kN/m de todas las correas que sustentan la cubierta sobre un pórtico.

*** Peso superficial en kN/m² de las correas sobre un pórtico

3.2. Discusión.

Tras los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 4, se puede observar en la gráfica 1, cuál de los perfiles tiene un menor peso lineal de correa por metro lineal, se aprecia que los perfiles conformados en frío, que cumplen con los criterios de resistencia, para los mismos parámetros introducidos, corresponden a los tipos CF, Omega rigidizados, y los ZF; en orden de menor a mayor peso; obteniéndose los mejores resultados para el modelo CF, con un valor de 0.848 KN/m; seguido de los perfiles tipo ZF, con un valor de 0.911 KN/m, y continuando de forma ascendente en función de su peso por metro lineal de los perfiles tipo omega rigidizados con un valor de 0.964 KN/m, como se puede apreciar en la figura 1:

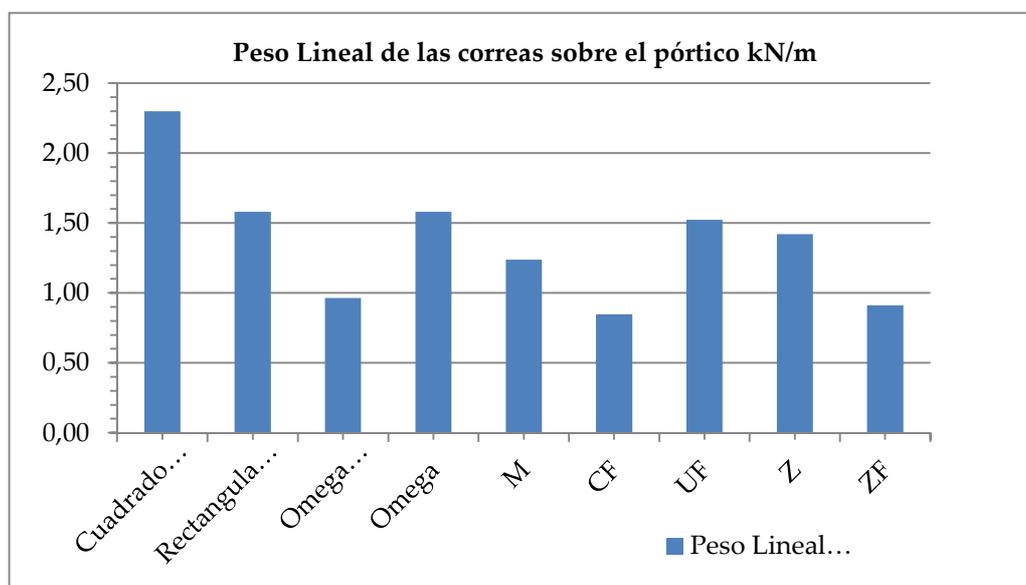


Figura 1: Peso Lineal (kN/m) de las correas sobre el pórtico para los distintos tipos de perfiles analizados.

De los resultados, observados en la tabla 5, el porcentaje de variación que se produce con respecto al perfil de mejor resultado, CF, es variable en función del tipo de perfil, con oscilaciones que van desde el 6.30 % de incremento del peso que se produce para los perfiles tipo ZF, hasta el aumento que se produce del 145.20 % de los perfiles cuadrados huecos con respecto a los tipos CF.

Esos porcentajes, disminuyen si la repercusión del peso de las correas la realizamos en función de la superficie, como se observa en la tabla 5, siendo el porcentaje mínimo para las correas tipo ZF, con un aumento del 0.34 % del peso con respecto a las correas tipo CF; y el porcentaje máximo son las de tipo cuadrado hueco, con un porcentaje de aumento del 7.43 %, con respecto a los perfiles tipo CF, todo ello, se aprecia en la figura 2, que muestra a continuación.

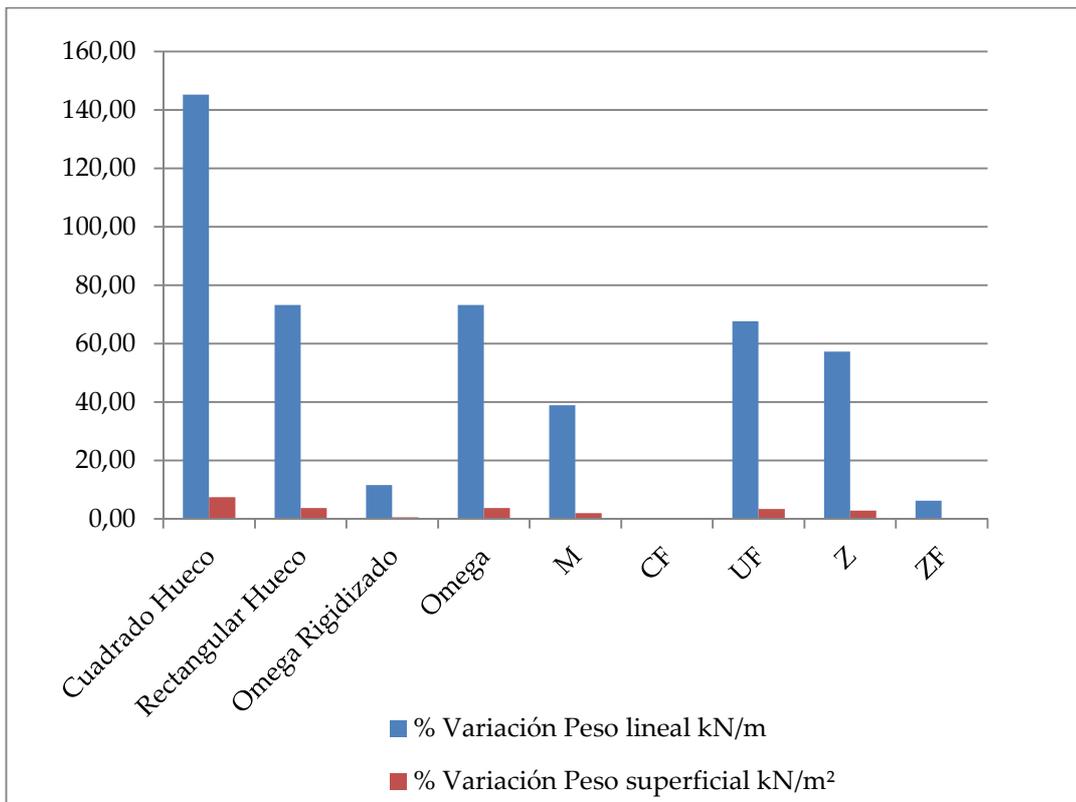


Figura 2: Porcentaje de variación del peso lineal y superficial de las correas sobre el pórtico para los distintos tipos de perfiles analizados.

4. Conclusiones

Las conclusiones que se desprenden de los resultados obtenidos de este estudio, son, que las correas o perfiles conformados en frío, que se utilizan para la sustentación de la cubierta de edificaciones industriales, resultan ser los tipo CF los cuales obtienen los mejores resultados, dichos perfiles, los de tipo CF, tienen una menor repercusión de peso sobre la estructura de la edificación, con el consiguiente ahorro económico que eso supone para la disminución de costes a la hora de llevar a cabo el proyecto de un edificio industrial; como se ha demostrado la repercusión del peso sobre el pórtico que ha de sustentar a las correas, que a su vez sustentan la cubierta es inferior tanto en kN/m como kN/m², con respecto a los otros tipos de perfiles sometidos a estudio.

Del resto de tipos de perfiles estudiados, le continuarían los de la serie ZF, utilizando este tipo de perfil se produce un aumento del peso metro lineal de las correas sobre la estructura de

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

un 6,30 % respecto a los perfiles CF, y luego los del tipo omega rigidizado, los cuales suponen una repercusión de peso por metro lineal sobre la estructura de un 11,60 % respecto a la serie CF; con el resto de series de perfiles se produce un gran aumento del peso, que desaconsejan su utilización si la premisa es la del ahorro económico.

Referencias

1. Ministerio de Fomento de España, Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Acciones de la Edificación. R.D. 314/2006 de 17 de Marzo. B.O.E. nº 74 del 28/3/2006.
2. Flores Yepes J. A.; libro: Análisis de estructuras metálicas. Cálculo de aplicaciones reales con metal 3D, Año 2011, Editorial AMV, ISBN: 978-84-96709-63-8.
3. Morales Palomino, Sisenando C.; libro: Diseño de Plantas Industriales, Año 2018, Editorial UNED, ISBN: 978-84-362-7356-4.
4. Reyes Rodríguez A. M.; libro: CYPE 2010: Cálculo de estructuras metálicas con nuevo metal 3d, Año 2009, Editorial ANAYA MULTIMEDIA, ISBN: 9788441526570.
5. Arcelormittal, Catálogo comercial, Año 2018.; <https://spain.arcelormittal.com>
6. Norma UNE-EN 10219-1:2007. Perfiles huecos para construcción soldados, conformados en frío de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro.
7. Norma UNE 36-575-79: productos de acero: perfiles abiertos conformados en frío: perfil OF
8. Norma UNE 36-573-79: productos de acero: perfiles abiertos conformados en frío: perfil CF
9. Norma UNE 36-572-80: productos de acero: perfiles abiertos conformados en frío: perfil UF
10. Norma UNE 36-574-79: productos de acero: perfiles abiertos conformados en frío: perfil NF
11. Norma UNE 36-576-79: productos de acero: perfiles abiertos conformados en frío: perfil ZF
12. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Norma UNE-EN 1993
13. Ministerio de Fomento de España, Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Seguridad Estructural- Acero. R.D. 314/2006 de 17 de Marzo. B.O.E. nº 74 del 28/3/2006.
14. CYPE Ingenieros, S.A. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción, versión 2018
15. Flores Yepes, J.A.; Ferrandez-Villena García, Manuel; Curso de metal 3d y generador de pórticos de metal 3d de Cype, 2015, Ediciones TC, ISBN 978-84-95556-21-9