

ANÁLISIS DE CARGA VIVA EN EL DISEÑO DE CERCHAS EN CELOSIA PARA CUBIERTAS METÁLICAS.

N. Prado García¹, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Recibido Agosto 31, 2010 - Aceptado septiembre 26, 2010

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v4n2.a02>

Resumen—En el diseño de cubiertas metálicas se debe de tener en cuenta la evaluación de diferentes tipos de carga. Generalmente los tipos de carga analizados en las cubiertas de nuestro medio son la carga muerta (D), carga de viento (W) y carga viva de cubierta (Lr).

Esta última carga está estipulada en la NSR-98 (Ref. 1) como 0.35 kN/m², si la pendiente de la cubierta es mayor al 20 % y de 0.50 kN/m², si la pendiente de la misma es menor al 20 %. La magnitud de estos valores mínimos exigidos, ha dividido la comunidad de ingenieros diseñadores y calculistas por su excesivo valor.

En este trabajo de investigación se analizó y diseñó una serie de cubiertas metálicas conformadas por cerchas en celosía de 20 m de longitud, considerando las condiciones normales de carga estipuladas por la normativa y confrontarlas con una serie de suposiciones en cuanto a la carga viva se refiere, basadas en los procedimientos constructivos de montaje y al número de trabajadores por cuadrilla normalmente empleados.

El estudio encontró que el diseño de la cubierta, experimentó una reducción en el peso propio total de la cercha del 22.19 %. Esta reducción se presentó cuando la cercha se sometió a la condición de carga viva caso 3, es decir, una suposición de carga que considera que cada nodo superior de la cercha se somete a una carga viva de 1.60 kN, representada en el peso de 2 trabajadores de 80 kg de masa corporal cada uno.

Palabras clave— Análisis de Carga viva, Diseño de cubierta metálicas, Evaluación de cargas.

Abstract— In the design of metal roofing should take into account the evaluation of different types of cargo. Generally load types analyzed in our area are covered with dead load (D), wind load (W) and roof live load (Lr).

This last charge is stipulated in the NSR-98 (Ref. 1) as 0.35 kN/m², if the slope of the roof is greater than 20% and 0.50 kN/m², if the slope of the roof is less than 20%. The magnitude of these minimum requirements, has divided the community of design engineers and mathematicians for its excessive value.

In this research was analyzed and designed a series of metal roofing truss lattice formed by 20 m long, considering the normal load conditions stipulated by the rules and compare them with a series of assumptions about the live load refers based on mounting construction procedures and the number of workers normally employed crew.

The study found that the cover design, experienced a reduction in the total dead weight from the ceiling of 22.19%. This reduction occurred when the truss is subjected to the condition of live load case 3, ie a loading condition that considers each top node of the truss is subjected to a live load of 1.60 kN, displayed in two of 80 workers kg body mass.

Keywords— Design of metal roofing, design of metal roofing, Evaluation loads.

I. INTRODUCCIÓN

En el momento de realizar el diseño de una cubierta metálica, como a cualquier estructura, se debe de realizar la evaluación de los tipos de carga que van a actuar en la vida útil de dicha estructura.

En el caso particular de una cubierta metálica, los tipos de carga que generalmente se analizan para las condiciones en nuestro medio son: la carga muerta (D), la carga viva de cubierta (Lr) y la carga de viento (W).

La carga muerta está representada por el peso de la teja empleada, el peso de las instalaciones eléctricas y luminarias, el peso de equipos de sistemas de aire acondicionado y contraincendios, si existen, y el peso propio de la estructura, es decir, el peso de los perfiles angulares empleados.

En cuanto a la carga de viento, estas se analizan actualmente según las disposiciones de la NSR-98 [1] y dependen de una serie de factores ambientales, topográficos y de la región donde se localice la cubierta.

Por su parte, la carga de viva está representada por el peso corporal que ejerce un grupo de personas a la cubierta durante el proceso de construcción o

¹ N. Prado G, Ingeniero Civil, docente Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, E-mail: nestor.prado@upb.edu.co

posterior a este por efectos de control y mantenimiento de la propia estructura.

Este último caso de carga, tienen dividida a la comunidad de Ingenieros diseñadores y calculistas, argumentando el excesivo valor que impone la NSR-98 [1] y su posterior versión NSR-10 [2] de 0.35 KN/m^2 para pendientes mayores del 20 % y de 0.50 KN/m^2 para pendientes menores del 20 %.

El valor establecido en la Norma de 0.35 KN/m^2 , equivaldría a tener una persona de 70 kg de masa corporal ubicado a cada 2 m en ambas direcciones ortogonales, mientras que el valor de 0.50 KN/m^2 equivaldría a tener una persona de la misma masa corporal ubicado cada 0,84 m en las mismas direcciones ortogonales.

A raíz de lo anterior, surge la idea de modelar y diseñar una cubierta metálica típica conformada por cerchas en celosía considerando las condiciones normales de carga estipuladas por la normativa y confrontarlas con una serie de suposiciones en cuanto a la carga viva se refiere, basadas en los procedimientos constructivos de montaje y al número de trabajadores por cuadrillas normalmente empleados en la actualidad.

Los resultados de este estudio podrían ser empleados para aportar más conocimiento en la variación de los valores de la carga viva en el diseño de cubiertas metálicas y servir como base de datos a las futuras actualizaciones de la NSR-10 [1] y el manual LRFD [2].

II. ALCANCE Y METODOLOGÍA

El alcance de este estudio consiste en realizar el diseño de una cubierta metálica conformada por cerchas en celosía teniendo en cuenta las disposiciones de la actual norma NSR-98 [1] y confrontarla con el diseño obtenido realizando una serie de suposiciones en cuanto a la carga viva desde el punto de vista de la localización y magnitud de la fuerza aplicada sobre la estructura.

Las características de la cubierta que se diseñó consisten básicamente en una cubierta dispuesta a 2 aguas con una pendiente del 20 %. Las dimensiones en planta son de 20 m de frente y 42 m de fondo. La cubierta está conformada por cerchas en celosía distanciadas cada 6 m y soportadas por columnas de

concreto en sus extremos. Las correas están moduladas a 1,5 m y están diseñadas para soportar teja liviana en lámina delgada. Los arriostramientos de la cubierta están garantizados por tirantes, tensores, contravientos y riostras.

En la Figura 1, se ilustra la geometría de la cercha típica.

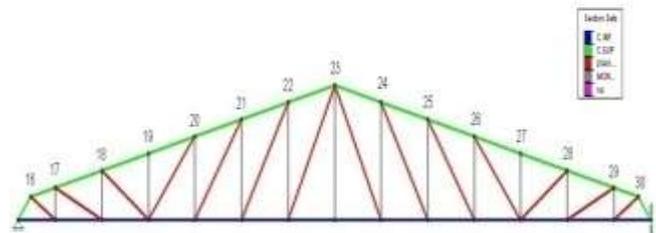


Fig. 1. Geometría de la cercha y numeración nodos de cordón superior.

La cubierta se diseñó teniendo en cuenta las siguientes suposiciones de carga viva:

- ✓ Carga viva de $0,35 \text{ KN/m}^2$
- ✓ Carga viva de $0,50 \text{ KN/m}^2$
- ✓ Carga viva omitida
- ✓ Carga viva caso 1
- ✓ Carga viva caso 2
- ✓ Carga viva caso 3

La carga viva de $0,35 \text{ KN/m}^2$ y de $0,50 \text{ KN/m}^2$ consisten básicamente en el cálculo de la carga puntual sobre cada nodo de la cercha tal y como está estipulado en la NSR-98 [1]. La magnitud de estos valores fueron de 3,15 KN y 4,50 KN respectivamente. En las Figuras 2 y 3, se ilustra la magnitud de las cargas puntuales debida a la carga viva de $0,35 \text{ KN/m}^2$ y $0,50 \text{ KN/m}^2$ respectivamente.

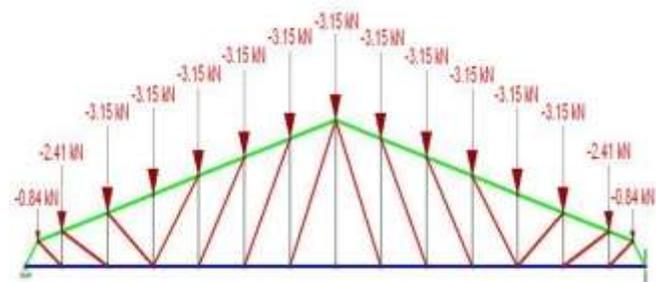


Fig. 2. Magnitud y posición de las cargas puntuales debida a la carga viva de $0,35 \text{ KN/m}^2$.

Fig. 3. Magnitud y posición de las cargas puntuales debida a la

Sísmica [1].

Por su parte, el material que se consideró para el diseño de los miembros de la cercha fueron perfiles angulares de acero comercial calidad A36, cuyo esfuerzo de fluencia (F_y) es 248 MPa y un esfuerzo último (F_u) de 400 MPa.

Para el diseño de la cercha fue necesario realizar una evaluación de los diferentes tipos de cargas. Los tipos de cargas que se consideraron en el diseño fueron la carga muerta (D), carga viva de cubierta (Lr) y la carga de viento (W).

En la tabla I, se relaciona la magnitud de las cargas puntuales de los diferentes casos de carga sobre los nodos de la cercha.

TABLA I
MAGNITUD DE CARGA PUNTUALES

Nodo	D	Lr	W1	W2	W3	W4
	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)
16	0,48	0,84	-0,32	-0,18	-0,12	-0,20
17	1,38	2,41	-0,92	-0,51	-0,34	-0,57
18	1,80	3,15	-1,20	-0,67	-0,44	-0,74
19	1,80	3,15	-1,20	-0,67	-0,44	-0,74
20	1,80	3,15	-1,20	-0,67	-0,44	-0,74
21	1,80	3,15	-1,20	-0,67	-0,44	-0,74
22	1,80	3,15	-1,20	-0,67	-0,44	-0,74
23	1,80	3,15	-1,33	-0,67	-0,44	-0,74
24	1,80	3,15	-1,33	-0,67	-0,44	-0,74
25	1,80	3,15	-1,33	-0,67	-0,44	-0,74
26	1,80	3,15	-0,44	-0,67	-0,44	-0,74
27	1,80	3,15	-0,44	-0,67	-0,44	-0,74
28	1,80	3,15	-0,44	-0,67	-0,44	-0,74
29	1,38	2,41	-0,34	-0,51	-0,34	-0,57
30	0,48	0,84	-0,12	-0,18	-0,12	-0,20

Al realizar el análisis estructural y el diseño de todas las cerchas teniendo en cuenta los diferentes tipos de carga y todas las condiciones de carga viva planteadas anteriormente, se obtiene un listado de perfiles angulares para cada miembro de la cercha especificando el peso total de la misma.

Es importante mencionar, que por efectos de estética y robustez de la cercha, se consideró que el perfil angular más pequeño a utilizar en el diseño de las mismas, son ángulos dobles de 1.5" x 1.5" x 1/8".

En la tabla II, se ilustra la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha

con carga viva de 0.35 KN/m².

TABLA II
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION DE CARGA VIVA DE 0,35 kN/m².

Cordón Inferior	2L 2" x 2" x 3/16"
Cordón Superior	2L 2.5" x 2.5" x 3/16"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	499.74 kg

En la tabla 3, se aprecia la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha con carga viva de 0.50 KN/m².

TABLA III
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION DE CARGA VIVA DE 0,50 kN/m².

Cordón Inferior	2L 2" x 2" x 3/16"
Cordón Superior	2L 2.5" x 2.5" x 1/4"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	582.61 kg

En la tabla IV, se observa la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha sin considerar carga viva.

TABLA IV
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION SIN CONSIDERAR CARGA VIVA.

Cordón Inferior	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Cordón Superior	2L 2" x 2" x 1/8"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	339.55 kg

En la tabla V, se muestra la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha con carga viva caso 1.

TABLA V
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION DE CARGA VIVA CASO 1.

Cordón Inferior	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Cordón Superior	2L 2" x 2" x 1/8"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	339.55 kg

En la tabla VI, se ilustra la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha con carga viva caso 2.

Tabla VI
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION DE CARGA VIVA CASO 2.

Cordón Inferior	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Cordón Superior	2L 2" x 2" x 1/8"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	339.55 kg

En la tabla VII, se aprecia la relación de los perfiles angulares que se obtuvo en el diseño para la cercha con carga viva caso 3.

Tabla VII
DESIGNACION DE PERFILES ANGULARES Y PESO DE LA CERCHA PARA LA CONDICION CARGA VIVA CASO 3.

Cordón Inferior	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Cordón Superior	2L 2" x 2" x 3/16"
Diagonales	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Montantes	2L 1.5" x 1.5" x 1/8"
Peso total de cercha	388.87 kg

IV. DISCUSION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez finalizada la modelación y diseño de las cerchas con los diferentes tipos de carga y todas las condiciones de carga viva planteadas, se procede a tabular y analizar los resultados.

A. Analizando el porcentaje de variación del peso propio total de las cerchas.

Al tabular los valores del peso propio total de las cerchas causadas por el efecto de los diferentes tipos de carga y por las condiciones de carga viva planteadas se obtiene:

Tabla VIII
PESO PROPIO TOTAL DE CERCHA

CONDICION DE CARGA VIVA	PESO TOTAL DE CERCHA
Carga viva de 0,35 kN/m ²	499.74 kg
Carga viva de 0,50 kN/m ²	582.61 kg
Carga viva omitida	339.55 kg
Carga viva caso 1	339.55 kg
Carga viva caso 2	339.55 kg
Carga viva caso 3	388.87 kg

Para realizar un análisis más a fondo se hace

necesario establecer una comparación en porcentaje de todos los pesos propios totales de las cerchas con respecto al peso propio total de la cercha diseñada con carga viva de 0.35 kN/m². La decisión de tomar esta cercha como punto de referencia, obedece a que es el menor valor de carga viva para efectos de diseño según lo estipulado en la norma vigente NSR-98 [1].

Tabla IX
PORCENTAJE DE VARIACION PESO PROPIO TOTAL DE CERCHA

CONDICION DE CARGA VIVA	PORCENTAJE DE VARIACION
Carga viva de 0,50 kN/m ²	+16.58 %
Carga viva omitida	-32.05 %
Carga viva caso 1	-32.05 %
Carga viva caso 2	-32.05 %
Carga viva caso 3	-22.19 %

Como se puede visualizar, el peso propio total de la cercha diseñada para soportar una carga viva de 0.50 kN/m², se incrementa en un 16.58 % con respecto al peso propio total de la cercha diseñada para soportar una carga viva de 0.35 kN/m².

Por su parte, el máximo porcentaje de reducción que se puede lograr en el peso propio total de la cercha es 32.05 %, situación que corresponde cuando se diseña la cercha sin carga viva, lo cual no es aceptable ni razonable.

Sorprendentemente, para la condición de carga viva caso 1 y carga viva caso 2, se obtuvo el mismo porcentaje de reducción en el peso propio total de la cercha, del caso para la carga viva omitida, es decir, 32.05 %. Esto significa que para dichas situaciones de carga, el efecto es insignificante.

Por su parte para la condición de carga viva caso 3, el peso propio total de la cercha se redujo en un 22.19 % con respecto al peso propio total de la cercha diseñada para soportar una carga viva de 0.35 kN/m².

B. Analizando la designación de los perfiles angulares en los distintos miembros para cada una de las cerchas.

Al analizar los cambios de perfiles empleados en los distintos miembros de las cerchas para los diferentes tipos de carga y condiciones de carga viva, se obtiene:

Al analizar las diagonales y montantes de todas las cerchas, se visualizó que sin importar la condición de carga viva, estos miembros siempre cumplieron el diseño con ángulos dobles de 1.5" x 1.5" x 1/8".

Por su parte, al comparar las cerchas diseñadas con una carga viva de 0.35 kN/m² y 0.50 kN/m², se visualizó que el único cambio presentado estuvo en el diseño del cordón superior, el cual pasó de ser ángulos dobles de 2.5" x 2.5" x 3/16" a 2.5" x 2.5" x 1/4". Cabe la pena resaltar que el cordón superior generalmente está sometido a esfuerzos axiales de compresión, esfuerzo donde el diseño en acero es muy susceptible a cambios.

De manera análoga se realiza el análisis para las cerchas diseñadas con la condición carga viva caso 1, carga viva caso 2 y carga viva caso 3, presentando el mismo cambio en el diseño del cordón superior, solo que esta vez pasó de ser ángulos dobles de 2" x 2" x 1/8" a 2" x 2" x 3/16". Paralelamente, se observó que para estos 3 casos de carga viva, el cordón inferior el cual está sometido generalmente a esfuerzos de tensión, cumplió con los ángulos mínimos, es decir, ángulos dobles de 1.5" x 1.5" x 1/8".

V. CONCLUSIONES

El estudio encontró que el diseño de una cubierta conformada por cerchas en celosía de 20 m de longitud, experimentó una reducción en el peso propio total de la cercha del 22.19 %. Esta reducción se presentó cuando la cercha se sometió a la condición de carga viva caso 3, es decir, una condición de carga que considera que cada nodo superior de la cercha se somete a una carga viva de 1.60 kN, representada en 2 trabajadores de 80 kg de masa corporal cada uno.

La condición de carga viva caso 3, idealizada con base al peso corporal que ejerce un grupo de personas en el proceso de construcción o posterior a

este por efectos de control y mantenimiento de la estructura, es equivalente a una carga uniformemente distribuida sobre la cubierta de 0.178 kN/m², es decir, un 50.86 % de la carga viva mínima de 0.35 kN/m² establecida por la NSR-98 [1].

También se constató que al realizar el diseño de la cubierta omitiendo por completo la carga viva, el porcentaje de reducción del peso propio que experimentó la cercha fue del 32.05 %, pero esta condición no es aconsejable desde ningún punto de vista, solo se realizó como dato de referencia del máximo porcentaje de reducción que se puede lograr en teoría.

El peso propio total de la cercha diseñada para soportar una carga viva de 0.50 kN/m², se incrementa en un 16.58 % con respecto al peso propio total de la cercha diseñada para soportar una carga viva de 0.35 kN/m².

Por otro lado, para la condición de carga viva caso 1 y carga viva caso 2, se obtuvo el mismo porcentaje de reducción en el peso propio total de la cercha, del caso para la carga viva omitida, es decir, 32.05 %. Esto significa que para dichas situaciones de carga, el efecto es insignificante y poco relevante para la configuración de la cercha analizada en este estudio.

Finalmente, el autor sugiere con base a los resultados obtenidos en este estudio, que el valor de la carga viva de cubierta de diseño de 0.35 kN/m² establecida en la NSR-98 [1] y NSR-10 [2] podría reducirse a un valor de 0.20 kN/m² para este tipo de cubiertas, lo que equivaldría a una carga por nodo de 2 trabajadores de 90 kg de masa corporal cada uno o 3 trabajadores de 60 kg de masa corporal cada uno.

Esta reducción en el valor de la carga viva de cubierta de diseño conlleva a una pequeña ventaja económica en el proyecto sin poner en riesgo la vida humana, ni la estabilidad de la estructura.

VI. RECOMENDACIONES

Después de realizar este estudio se derivan algunas recomendaciones ó dudas planteadas a lo largo del proyecto.

Básicamente, se recomienda continuar este estudio analizando cerchas en celosías de diferentes longitudes, preferiblemente mayores a las analizadas

en este informe.

También resulta interesante realizar el estudio considerando cubiertas conformadas por vigas en alma llena y de esta manera ir elaborando una base de datos sólida para que los resultados puedan ser tenidos en cuenta en futuras actualizaciones de la NSR-10 [2].

NOTACION

D	=	Carga muerta.
Fu	=	Esfuerzo último.
Fy	=	Esfuerzo de fluencia.
Lr	=	Carga viva de cubierta.
W	=	Carga de viento.

BIOGRAFÍA



Néstor Iván Prado García, Lugar de nacimiento Cali, Ingeniero Civil, Universidad del Valle, Magister en Ingeniería Civil en el área de estructuras, Universidad de Los Andes. Interés de investigación en el comportamiento de estructuras metálicas en acción compuesta y acción sencilla. Docente

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

REFERENCIAS

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. “Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-98”. 1998.
- [2] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. “Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10”. 2010.
- [3] American Institute of Steel Construction. “Load & Resistance Factor Design LRF”. 1998.
- [4] J.C. McCormac, “Diseño de Estructuras de Acero, Método LFRD”. Segunda edición, Editorial Alfaomega. México, 2002.
- [5] R. Englekirk, “Steel Structures, Controlling Behavior Through Design”. Jhon Wiley & Sons. United States, 1994.
- [6] C. G. Salmon & J. E. Johnson, “Steel Structures, Design and Behavior, Emphasizing Load and Resistance Factor Design”. Fourth edition, Prentice Hall. New Jersey, 1996.
- [7] L. Geschwindner, R. Disque & R. Bjorhovde, “Load and Resistance Factor Design of Steel Structures”. Prentice Hall. New Jersey, 1994.