



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



## Diseño de una Estructura de Acero Formado en Frío por el Método LRFD para un Galpón Industrial

Víctor H. Velasco Galarza <sup>(1)</sup> Ernesto Martínez Lozano, Ing. <sup>(2)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción <sup>(1) (2)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral <sup>(1) (2)</sup>  
Campus Gustavo Galindo Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-58631, Guayaquil, Ecuador <sup>(1) (2)</sup>  
[vvelasco@espol.edu.ec](mailto:vvelasco@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup> [emartine@espol.edu.ec](mailto:emartine@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

### Resumen

*El presente artículo se basa en el desarrollo de mi tesis de pregrado, y nace de la necesidad de mejorar la infraestructura de cubierta de la empresa FIBRAYESO; la misma que desde sus inicio en el año 2004 hasta la actualidad, ha mantenido una cubierta mixta, de caña y mampostería de ladrillo en una que otra pared lateral, para toda la planta; la cual no presta las garantías de seguridad ya que fue construida de forma empírica y no técnica, lo que influye también en la imagen que muestra a los clientes que visitan las instalaciones. Entonces, el problema es básicamente que la infraestructura donde se encuentra la planta procesadora no presenta las condiciones de diseño técnico. Ya que actualmente la empresa se encuentra en crecimiento constante y de modernización, se me encomendó encargarme del diseño de la estructura de acero tipo galpón industrial a dos aguas. El objetivo general de esta tesis es el mejoramiento de la infraestructura de cubierta de la planta procesadora de yeso, por medio del diseño de un nuevo galpón de acero formado en frío. Para esto empecé estableciendo las cargas a las cuales estaría sometida le estructura, analicé las condiciones críticas de trabajo y finalmente comprobé si los perfiles preestablecidos eran o no idóneos, para lo cual utilicé las especificaciones de la Norma AISI para aceros formados en frío (2001). Finalmente realicé un presupuesto sobre el costo concerniente a este proyecto, con lo que la empresa FIBRAYESO decidirá su factibilidad de aplicación en la práctica, de acuerdo con su poder adquisitivo. Con todas estas especificaciones se ha logrado un diseño óptimo de la estructura que alberga la planta, cambiando así la imagen de la misma.*

**Palabras Claves:** *Diseño, perfiles de acero formado en frío, LRFD.*

### Abstract

*Present article is based on the development of my undergraduate thesis, this is for improve the roof's infrastructure of FYBRAYESO company, this company since that begin its activities in the 2004 until now, has had a mixed deck, with reed and brick masonry in some lateral walls for all industry; the security warranties are not presents due to that was built of empirical and no technical way, this factor is incident too in the appearance that show to the costumers that visit the installations. Thus, the main objective is that the infrastructure of the company not presents the technical design conditions. The company is in constant growth and modernization, my task is the design of the still structure type industrial barn gable. The main objective of this thesis is the improvement the roof's infrastructure of gypsum processing, for way of the design of shed new cold-formed steel. For this I began setting the charges where could be subject the structure, I analyze the critical work conditions and finally I checked if the profiles whether the preset profiles were either not suitable, for which I used the specifications of the AISI Standard for Cold-formed steel (2001). I finally realized a estimation about the cost concerning this project, so the FIBRAYESO company decided the feasibility of implementation in practice, according to their purchasing power. Due to all these specifications has been achieved an optimal design of the structure of the manufactory, changing the image of the same.*

## 1. Introducción

El presente artículo trata sobre el “Diseño de una Estructura de Acero formado en frío por el Método LRFD para un Galpón Industrial”; para lo cual se utiliza como guía principal, Las Especificaciones dadas por El Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI) aplicadas a Estructuras de Aceros Formados en Frío, año 2001.

El Galpón Industrial, se compone en esencia de pórticos rígidos reticulares de alma abierta y a dos aguas. Y para cumplir con el objetivo principal de diseñarlo, se ha realizado un análisis estructural del proyecto, previo al diseño en sí. Este último se ha logrado predisponiendo perfiles en el análisis, para luego comprobar su idoneidad como miembro estructural del Galpón Industrial.

Este trabajo será de gran valía para los compañeros estudiantes, cuando de directriz se trata, ya que ha sido desarrollado en forma secuencial con los pasos necesarios y con una nueva metodología técnica para diseñar, como lo es la LRFD.

## 2. Generalidades

### 2.1 Perfiles de lámina delgada de acero formados en frío

Los perfiles de acero formados en frío se fabrican doblando láminas delgadas de acero de bajo carbono o baja aleación en prácticamente cualquier sección transversal deseada, como la mostrada en la figura 1.

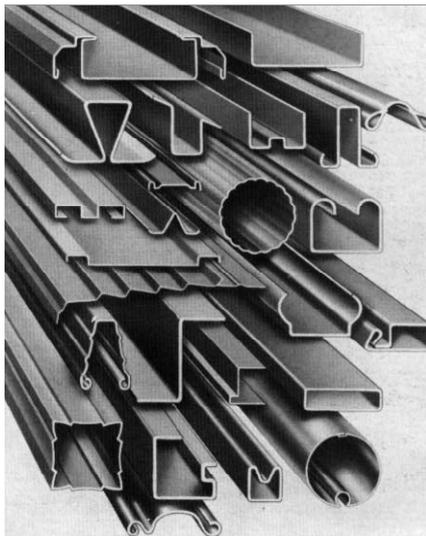


Figura 1. Diferentes formas de secciones.

De las cuales hay disponibles en el mercado nacional: canales U, correas G, perfil Z, perfil  $\Omega$ , ángulos L y tuberías circular, cuadradas y rectangular.

En general, las alturas de las almas de los perfiles formados en frío varían entre 2 a 12 pulgadas (51 a 305mm), excepcionalmente hasta 18 pulgadas (457mm); mientras que sus espesores varían entre 0.048 a 0.25 pulgadas (1.2 a 6.4mm), pudiendo llegar en algunos casos hasta 0.5 pulgadas (13mm) o más. Espesores de aproximadamente 0.75 o 1 pulgada (19 o 25mm) se han usado en estructuras de telecomunicaciones.

En cuanto a los aceros formados en frío, las especificaciones de diseño para esta familia de miembros estructurales, y la que rige nuestro proyecto, son las dictadas por El Instituto Americano del Hierro y el Acero (American Iron and Steel Institute / AISI) año 2001.

### 2.2 El método de diseño LRFD

Este proyecto se lo realizará con el método de diseño plástico denominado LRFD por sus siglas en inglés (Load and Resistance Factor Design), en español, Diseño por factor de carga y resistencia.

Este método se basa en los conceptos de estados límites; es decir las condiciones en la que una estructura o parte de ella deja de cumplir su pretendida función. Existen dos estados de servicio, el de *resistencia*, que se fundamenta en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo, etc.; y el de *servicio*, que tiene que ver con aspectos asociados con el uso y ocupación, tales como deflexión excesiva, deslizamiento, vibraciones y agrietamientos. La estructura no sólo debe ser capaz de soportar las cargas de diseño o últimas, sino también las de servicio o trabajo en forma tal, que se cumpla con los requisitos de los usuarios de la misma.

En el método LRFD, las cargas de servicio ( $Q_i$ ) se multiplican por ciertos factores de carga o seguridad ( $\lambda_i$ ) que son casi siempre mayores que 1.0 y se obtienen las “Cargas factorizadas” usadas para el diseño de la estructura. Las magnitudes de los factores de carga varían, dependiendo del tipo de combinación de las cargas, así:

- $U_1 = 1.4D + L$
- $U_2 = 1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } Rr)$
- $U_3 = 1.2D + 1.6 (Lr \text{ o } S \text{ o } Rr) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$
- $U_4 = 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } Rr)$

- $U_5 = 1.2D + 1.5E + 0.2S$
  - $U_6 = 0.9D - (1.3W \text{ o } 1.5E)$
- Donde  $U_i$  = Combinaciones de carga
- D = Carga muerta
  - L = Carga viva
  - $L_r$  = Carga viva de techo
  - S = Carga de Nieve
  - $R_r$  = Carga de lluvia,  
(excepto encharcamiento)
  - W = Carga de Viento

La estructura se dimensiona para que tenga una resistencia última de diseño suficiente para resistir las cargas factorizadas. Esta resistencia se considera igual a la resistencia teórica o nominal ( $R_n$ ) del miembro estructura, multiplicada por un factor de resistencia  $\phi$  que es normalmente menor que 1.0; con este factor, el Ingeniero intenta tomar en cuenta las incertidumbres relativas a resistencias de los materiales, dimensiones y mano de obra. Además esos factores se ajustaron un poco para lograr una mayor confiabilidad y uniformidad en el diseño. Lo anterior se puede resumir de la siguiente manera:

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n$$

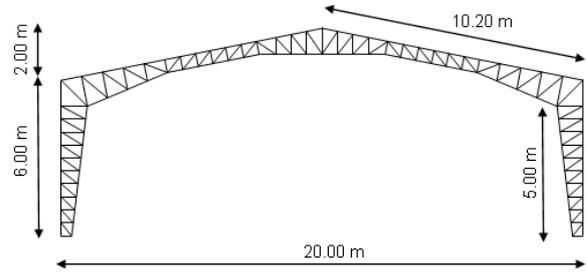
Donde el miembro de la izquierda corresponde a la suma de los productos de los efectos de las cargas en la estructura y factores de carga; y el derecho corresponde a la resistencia o capacidad del elemento estructural.

### 3. Análisis y Diseño de la Estructura de Acero

Se procederá a realizar el análisis y el diseño de la estructura de acero, esencialmente del Pórtico. El mismo que consiste en determinar las reacciones verticales, dadas por las combinaciones de cargas establecidas para el Método de diseño LRFD, para después determinar las reacciones horizontales a fin de poder obtener las reacciones horizontales a través del Método del Trabajo Virtual; y así poder empezar a diseñar de acuerdo a las especificaciones dadas por la AISI (2001) para el diseño de miembros estructurales de acero formados en frío.

#### 3.1 Diseño de Forma

Con las dimensiones requeridas por la Empresa FIBRAYESO, interesada directamente en llevar a cabo este proyecto en un área de 20 x 15 m<sup>2</sup>, arranco el análisis con el planteamiento del diseño de forma mostrado en la figura 2.

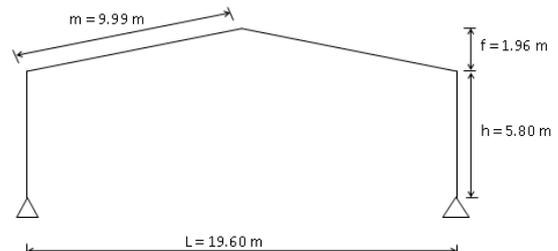


**Figura 2.** Diseño de Forma.

Con una distancia entre pórticos de 5m, inclinación de cubierta del 20% (11.31°), y distancia entre largueros de 1.27m.

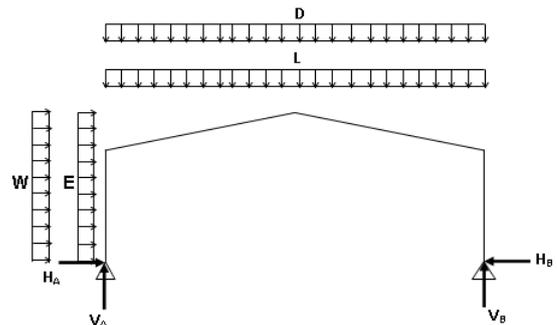
#### 3.2 Análisis Estructural del Pórtico Reticular

Para el análisis del pórtico, se toma en cuenta las dimensiones de la línea central del mismo, las cuales son indicadas en la figura 3.



**Figura 3.** Dimensiones centrales del pórtico.

Además se identifican las cargas que sobre el



pórtico actúan, tal como muestra la figura 4.

**Figura 4.** Cargas sobre el pórtico.

Donde;

#### Carga muerta D:

Para la cubierta:	4.31 kg/m <sup>2</sup>
Peso de largueros Z:	4.15 kg/m <sup>2</sup>
Peso de la estructura:	10.00 kg/m <sup>2</sup>
<b>Total carga muerta:</b>	<b>D = 18.46 kg/m<sup>2</sup></b>

**Carga viva L:**

De montaje y mantenimiento: **50.00 kg/m<sup>2</sup>**

**Carga de Viento W: 76.53 kg/m<sup>2</sup>**

**Carga de Sismo E: 1.85 kg/m<sup>2</sup>**

**REACCIONES VERTICALES**

Para determinar las reacciones verticales en el pórtico, se calcula dichas reacciones en forma independiente, provocadas por cada una de las cargas que actúan; y De todas las combinaciones posibles de carga, la que arroja mayor resultado corresponde a:

$$V = 1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$= 1.2 (904.59) + 1.6 (2450) + 0$$

$$= \mathbf{5005.51 \text{ kg}}$$

Por lo tanto la respectiva combinación de carga distribuida será:

$$w = 1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$= 1.2 (18.46 * 5) + 1.6 (50 * 5) + 0$$

$$= \mathbf{510.77 \text{ kg/m}}$$

**REACCIONES HORIZONTALES**

Con ayuda del método del trabajo virtual, se calculará las reacciones horizontales.

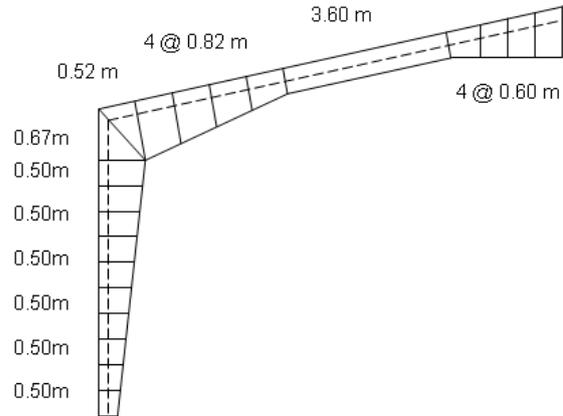
Como el pórtico no es de sección uniforme, conviene dividirlo en tramos de longitud *s*, lo más uniforme posible. De tal forma que la integración se convierta en una sumatoria, donde cada valor de los momentos *M* y *m*, y de los momentos de inercias *I*, deben ser tomados en el centroide de cada tramo, con lo que la expresión del cálculo de la reacción horizontal queda:

$$H_B = \frac{\sum \frac{Mm}{EI} s}{\sum \frac{mm}{EI} s}$$

El pórtico se procederá a dividir en tramos los más uniformes posibles, como muestra la figura 5.

Los centroides de cada tramo serán determinados respecto al origen colocado en la base del pórtico, coincidente con el inicio de su respectiva línea central.

Para determinar las inercias de cada tramo en que se dividió el pórtico, se toma en consideración los canales externos e internos de los mismos, mientras que se despreciará las celosías de cada tramo. A lo largo del pórtico se encuentran tramos que no son uniformes, pero que sin embargo serán tratados como tales en virtud de que las inclinaciones de los canales no son de gran magnitud y por ende su inercia cambiará muy poco.



**Figura 5.** Distribución de tramos en el pórtico.

Ya con las reacciones verticales, carga distribuida correspondiente, los centroides y los momentos de inercia calculados, sólo queda calcular los momentos en cada tramo, los mismos que varían según corresponda a la columna o a la viga, como se muestra a continuación:

$$M_{col} = 5005.51 \bar{x}$$

$$M_{vig} = 5005.51 \bar{x} - \frac{510.77}{2} \bar{x}^2$$

$$m = \bar{y}$$

En la tabla 1 se resume todos los parámetros calculados, previo a la determinación de la carga horizontal por el método del trabajo virtual.

**Tabla 1.** Determinación de la Carga Horizontal

Tramo	$\bar{x}$ (m)	$\bar{y}$ (m)	M (kg·m)	m (kg·m)	S (m)	I (m <sup>4</sup> )	Mms/I	mms/I
1	0,015	0,26	76,83	0,26	0,50	2,0E-04	4,8E+04	1,6E+02
2	0,017	0,76	85,81	0,76	0,50	2,7E-04	1,2E+05	1,1E+03
3	0,019	1,25	92,83	1,25	0,50	3,4E-04	1,7E+05	2,3E+03
4	0,020	1,75	98,47	1,75	0,50	4,2E-04	2,1E+05	3,7E+03
5	0,021	2,25	103,10	2,25	0,50	5,0E-04	2,3E+05	5,1E+03
6	0,021	2,75	106,97	2,75	0,50	6,0E-04	2,5E+05	6,3E+03
7	0,022	3,25	110,25	3,25	0,50	7,0E-04	2,6E+05	7,6E+03
8	0,023	3,75	113,07	3,75	0,50	8,1E-04	2,6E+05	8,7E+03
9	0,023	4,25	115,51	4,25	0,50	9,3E-04	2,6E+05	9,7E+03
10	0,024	4,75	117,66	4,75	0,50	1,1E-03	2,6E+05	1,1E+04
11	0,133	5,33	662,86	5,33	0,67	5,0E-04	4,7E+06	3,8E+04
12	0,390	5,72	1912,07	5,72	0,52	6,9E-04	8,3E+06	2,5E+04
13	1,067	5,69	5048,20	5,69	0,82	1,3E-03	1,8E+07	2,1E+04
14	1,823	6,01	8276,94	6,01	0,82	9,5E-04	4,3E+07	3,1E+04
15	2,580	6,31	11214,48	6,31	0,82	6,6E-04	8,8E+07	5,0E+04
16	3,338	6,62	13861,33	6,62	0,82	4,1E-04	1,8E+08	8,8E+04
17	5,585	6,90	19989,70	6,90	3,60	2,2E-04	2,3E+09	7,8E+05
18	7,689	7,29	23388,67	7,29	0,63	2,8E-04	3,8E+08	1,2E+05
19	8,309	7,35	23958,93	7,35	0,60	4,2E-04	2,5E+08	7,8E+04
20	8,907	7,41	24323,48	7,41	0,60	5,7E-04	1,9E+08	5,7E+04
21	9,506	7,47	24504,97	7,47	0,60	7,6E-04	1,5E+08	4,4E+04
<b>SUMA TOTAL</b>							<b>3,6E+09</b>	<b>1,4E+06</b>

Con lo que:

$$H_B = \frac{\sum \frac{Mm}{EI} s}{\sum \frac{mm}{EI} s} = \frac{2 * 3.59 * 10^9}{2 * 1.39 * 10^6}$$

$$H_B = 2583.18 \text{kg}$$

**PUNTOS DE MOMENTOS CEROS Y MÁXIMOS**

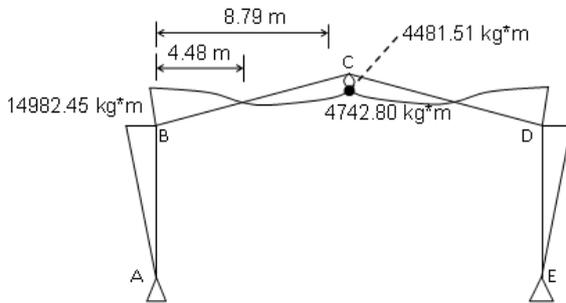
Los momentos en la columna y en la viga quedan expresados así:

$$M_{viga} = 5005.51x - 2583.18(5.8 + 0.2x) - \frac{510.77}{2} x^2$$

$$M_{columna} = 2583.18y$$

Con estas expresiones se determina el punto de momento cero y máximo momento positivo en la viga, así como sus correspondientes valores. Para completar el análisis de momentos, se calcula los momentos en la unión de la columna con la viga y en el punto de simetría del pórtico. La figura 6 muestra el diagrama de momento flector a lo largo del pórtico.

**Figura 6.** Diagrama de momento flector a lo largo del pórtico.

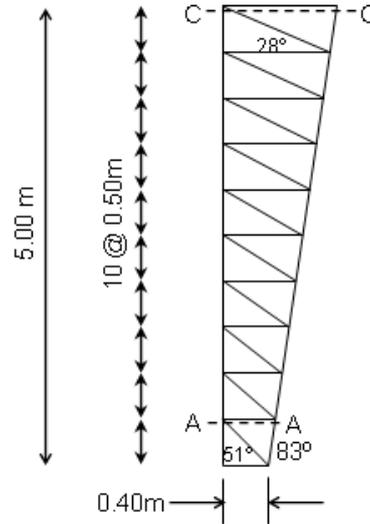


**ANÁLISIS DE FUERZAS EN LA COLUMNA**

Se sigue el método del cortante y momento para analizar la columna.

Las secciones a analizar serán; en la parte más alta para los canales externos e interno, y en la parte de abajo para las celosías horizontal y diagonal. Las secciones se señalan en la figura 7.

El método del cortante y momento analiza la sección en términos del axial, cortante y momento que equilibren al mismo; dada las cargas de reacción vertical y horizontal antes determinadas.



**Figura 7.** Secciones de análisis en la columna.

Todos los valores de fuerzas calculadas, respectiva ubicación y longitud del elemento se resumen en la Tabla 2.

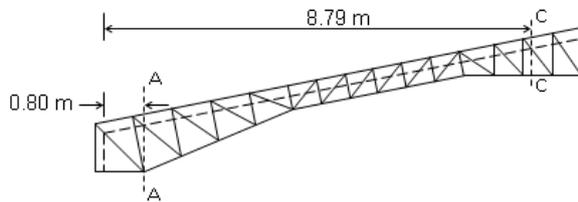
**Tabla 2.** Fuerzas internas en la columna

**ANÁLISIS DE FUERZA EN LA VIGA**

CANAL EXTERNO		
Altura (m)	Tensión (kg)	Long.Elemento (m)
4,50	9863,53	0,500
5,00	10023,28	0,500
CANAL INTERNO		
Altura (m)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
4,50	15378,03	0,504
5,00	15529,27	0,504
CELOSÍAS HORIZONTALES		
Altura (m)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
0,50	1945,91	0,460
CELOSÍAS DIAGONALES		
Altura (m)	Tensión (kg)	Long.Elemento (m)
0,50	3114,98	0,640

La viga será analizada mediante el método del cortante y momento flector, en dos secciones críticas; una es aquella cercana a la rodilla donde se producen los mayores momentos flectores, y la otra es la sección donde se produce el máximo momento positivo en la viga.

En la figura 8 se presentan las secciones de análisis en la viga y sus respectivas posiciones respecto al origen.



**Figura 8.** Secciones de análisis en la viga.

En la tabla 3 se resumen todos los valores críticos de interés sobre la viga.

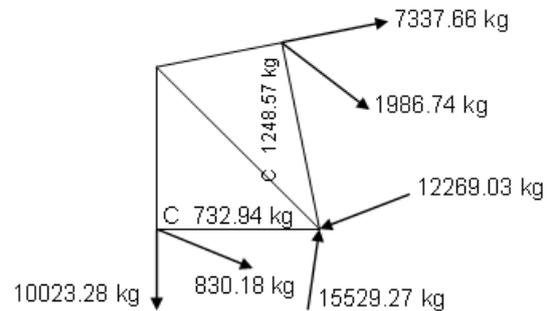
**Tabla 3.** Fuerzas internas en la viga

CANAL EXTERNO			
x (m)	Tensión (kg)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
0,80	7337,66		0,816
8,79		8458,73	0,612
CANAL INTERNO			
x (m)	Tensión (kg)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
0,80		12269,03	0,833
8,79	6613,07		0,600
CELOSIAS PERPENDICULARES			
x (m)	Tensión (kg)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
0,80		1248,57	1,177
CELOSIAS DIAGONALES			
x (m)	Tensión (kg)	Compresión (kg)	Long.Elemento (m)
0,80	1986,73		1,298

### ANÁLISIS DE FUERZAS EN LA RODILLA

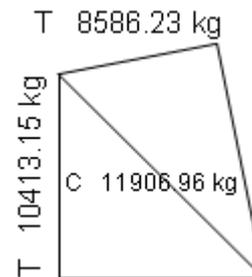
La rodilla es el miembro de la estructura que soportará los mayores momentos flectores, y por lo tanto los mayores esfuerzos, principalmente la celosía diagonal, de ahí que ésta será conformada por dos perfiles C unidos por el alma.

Para determinar los valores de las fuerzas internas en la rodilla, se recurre al método de análisis nodal; no sin antes partir de los valores ya conocidos en la columna y en la viga, que forman parte también de la rodilla, y que se muestran en la figura 9.



**Figura 9.** Fuerzas conocidas sobre la rodilla.

A continuación la figura 10 muestra los valores calculados por análisis nodal.



**Figura 10.** Fuerzas internas en la rodilla.

### 3.3 Diseño del Pórtico

Para todo el pórtico se utilizará el acero estructural A36, con  $F_y = 36\text{ksi}$  ( $2530,80\text{ kg/cm}^2$ ) y  $F_u = 58\text{ ksi}$  ( $4077,40\text{ kg/cm}^2$ ), pues es el tipo de acero que se encuentra en el mercado local en cuanto a perfiles estructurales formados en frío se refiere.

Conocidas ya las fuerzas internas en los miembros de la estructura se procede a diseñar los mismos, de tal forma que los perfiles previamente seleccionados cumplan con las especificaciones recomendadas por el manual del Instituto Americano del Hierro y el Acero (American Iron and Steel Institute / AISI), año 2001, bajo el método de diseño del Factor de Carga y Resistencia (LRFD). Estas recomendaciones corresponden al diseño a tracción y a compresión, y se detallan a continuación.

♦ Para miembros sometidos a tracción:

En la sección C2 p.60 de las especificaciones AISI y en la sección C2 p.A4 del apéndice se recomienda que, dado que la carga de diseño  $T_u \leq \phi T_n$ , la resistencia nominal  $T_n$  corresponde a la menor entre los valores:

a) Para fluencia en la sección total:

$$T_n = A_g F_y$$

$$\phi_t = 0.90$$

b) Por fractura en la sección neta lejos de la conexión



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



$$T_n = A_n F_u$$

$$\phi_t = 0.75$$

Donde,  $A_g =$  área total  
 $A_n =$  área neta  
 $F_y =$  punto de fluencia  
 $F_u =$  resistencia última

Lo que infiere que al diseñar, el área que se escogerá será la mayor entre  $A_g$  y  $A_n$ . Asimismo se deberá comprobar que el miembro estructural a diseñarse, cumpla con la relación de esbeltez

$$\frac{L}{r_{min}} \leq 300$$

♦ Para miembros sometidos a compresión:

En la sección C4 p.81 de las especificaciones AISI se indica que la resistencia nominal para compresión es:

$$P_n = A_e F_n$$

$$\phi_c = 0.85$$

Donde,  $A_e =$  área efectiva de diseño  
 $F_n =$  esfuerzo crítico o de pandeo y es determinado de la siguiente forma:

$$\text{Para } \lambda_c \leq 1.5 \quad F_n = (0.658 \lambda_c^2) F_y$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_n = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$$

Donde

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$F_e =$  el menor valor de pandeo flexionante, torsional y flexo-torsión

• Pandeo Flexionante

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Con  $E =$  Módulo de elasticidad  
 $K =$  factor de longitud efectiva  
 $= 1$   
 $L =$  longitud lateral no arriostrada  
 $r =$  radio de giro de la sección completa respecto al eje de pandeo

• Pandeo Flexo-torsión

$$F_e = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right]$$

Con;

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

Donde  $A =$  área de sección completa  
 $r_o =$  radio de giro polar de la sección, respecto del centro de corte,

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2}$$

$G =$  Módulo de corte para el acero  
 $x_o =$  distancia desde el centro del corte al centroide de la sección, tomado como negativo

$J =$  constante de torsión de Saint-Venant para la sección

$C_w =$  constante de alabeo torsional de la sección

Nota: Para determinar el área efectiva de la sección de un perfil, se sigue lo establecido en la sección B2.1(a) de las especificaciones AISI; pero dado que los perfiles C, utilizados en este proyecto como miembros principales, sus alas no tiene rigidizadores de borde, por lo que las especificaciones en su sección B3.1 restringen el valor del coeficiente de pandeo local ( $k$ ) a un valor de 0.43; mientras que su alma si está rigidizada por las alas y  $k = 4$ . Además se debe cumplir con la relación de longitud plana-espesor  $w/t < 60$  para elementos no rigidizados en los bordes y  $w/t < 500$  para elementos rigidizados (tomado de sección B.1.1(a) de las especificaciones). Quedando las recomendaciones de la siguiente forma:

Ancho efectivo,  $b$ , será determinado de las siguientes ecuaciones:

$$b = w \quad \text{cuando } \lambda \leq 0.673$$

$$b = \rho w \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

Donde

$w =$  longitud plana del ala de la sección

$$\rho = \frac{\left( 1 - \frac{0.22}{\lambda} \right)}{\lambda}$$

$\lambda$  es un factor de esbeltez determinado como sigue:

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left( \frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{F_n}{E}}$$

Donde

t = espesor de la sección

k = coeficiente de pandeo local

Lo anterior se aplica tanto al ala como al alma de la sección, para luego computadas sus respectivas longitudes efectivas determinar el área efectiva de la sección.

### CÁLCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA

En la tabla 4, se resume los perfiles establecidos para los miembros de la estructura.

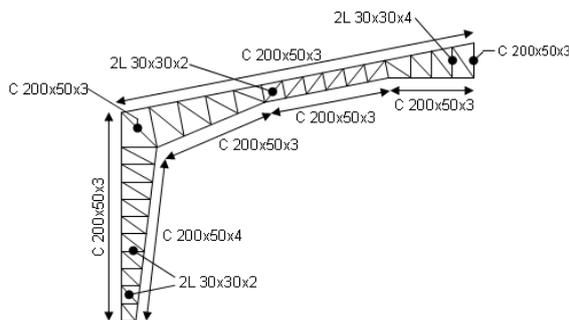
**Tabla 4. Peso exacto del pórtico**

Columna				
Miembro	Perfil	Peso/long. (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg)
Canal externo	C200x50x3	6,83	5,00	34,15
Canal interno	C200x50x4	9,01	5,04	45,37
Celosía diagonal (2)	L30x30x2	0,89	16,85	15,00
Celosía horizontal (2)	L30x30x2	0,89	14,6	12,99
Viga				
Miembro	Perfil	Peso/long. (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg)
Canal externo	C200x50x3	6,83	11,20	76,48
Canal interno	C200x50x3	6,83	9,26	63,27
Celosía diagonal (2)	L30x30x2	0,89	25,98	23,12
Celosía perpendicular (2)	L30x30x4	1,68	19,11	32,11
Rodilla				
Miembro	Perfil	Peso/long. (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg)
Canal externo	C200x50x3	6,83	1,00	6,83
Celosía Diagonal (2)	C200x50x3	6,83	2,83	19,32
<b>Peso de la mitad del pórtico (kg)</b>				<b>328,6</b>

Con lo que establece una carga distribuida debida al peso de 6.71 kg/m<sup>2</sup>, misma que no sobrepasa el peso de estructura estimado en 10 kg/m<sup>2</sup>. Lo que permite concluir que el análisis y diseño es definitivo.

### 4. Resultados

Habiendo concluido el diseño de la estructura, se resume en la figura 11 el diseño final del pórtico, el mismo que constituirá la nave industrial o galpón.



**Figura 11. Diseño final del pórtico.**

A continuación se realiza el cálculo de la cantidad de los diferentes perfiles que se necesitan en el presente proyecto; para lo cual se requiere de la longitud de los miembros, así como su longitud acumulada, como se detalla a continuación.

**Tabla 5. Números de perfiles por tipo**

CANAL U 200 x 50 x 3 mm				
Miembro del Pórtico	Sección del Pórtico	Longitud del perfil (m)	Longitud Acumulada (m)	# Perfiles
Columna	Canal externo	5,00	5,00	1
Rodilla	Canal externo	1,00	6,00	1
	Diagonal (2)	2,83	8,83	2
Viga	Canal externo	10,31	19,03	4
	Cumbrera	1,25	20,03	4
	Canal interno	9,35	29,29	5
<b># total de perfiles/pórtico =</b>				<b>10</b>
<b># total de perfiles =</b>				<b>40</b>
CANAL U 200 x 50 x 4 mm				
Miembro del Pórtico	Sección del Pórtico	Longitud del perfil (m)	Longitud Acumulada (m)	# Perfiles
Columna	Canal interno	5,04	5,04	1
<b># total de perfiles/pórtico =</b>				<b>2</b>
<b># total de perfiles =</b>				<b>8</b>
ANGULO L 30 x 30 x 2 mm				
Miembro del Pórtico	Celosías	Longitud del perfil (m)	Longitud Acumulada (m)	# Perfiles
Columna	Diagonal (2)	16,85	16,85	3
	Horizontal (2)	14,60	31,45	6
Viga	Diagonal (2)	28,72	57,43	10
<b># total de perfiles/pórtico =</b>				<b>20</b>
<b># total de perfiles =</b>				<b>80</b>
ANGULO L 30 x 30 x 4 mm				
Miembro del Pórtico	Celosías	Longitud del perfil (m)	Longitud Acumulada (m)	# Perfiles
Viga	Perpendicular (2)	19,11	19,11	4
<b># total de perfiles/pórtico =</b>				<b>8</b>
<b># total de perfiles =</b>				<b>32</b>

### COSTOS DEL PROYECTO

**Tabla 6. Resumen de costos**

COSTOS DEL PROYECTO	
COSTO MATERIALES TOTALES	12.033,82
COSTO MANO OBRA TOTAL	10.081,01
COSTO TRANSPORTE materiales y herramientas	684,92
COSTO ALQUILER EQUIPOS	856,15
DIRECCION TECNICA	1.512,15
<b>COSTO TOTAL SIN IVA</b>	<b>25.168,06</b>

Los nombres y afiliación del autor(es) deben estar centrados abajo del título y se imprimirán en Times tamaño 10, sin negrilla, dejando una línea de espacio a tamaño 10 después del título, tal como se indica arriba.



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



## 11. Agradecimientos

A todas las personas que saben que han aportado en mi formación profesional. A mi Director de Tesis, Ing. Ernesto Martínez, por estar siempre presto a compartir sus conocimientos y experiencias profesionales. A mi novia, Srta. Dalia Pauta Loor, por su paciencia, comprensión y ayuda. A mis amigos por arengarme a terminar este proyecto.

## 12. Referencias

- [1] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Ejemplos de Diseño, Decimo Tercera Edición, Impreso en Estados Unidos de América, 2005.
- [2] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Especificaciones, Decimo Tercera Edición, Impreso en Estados Unidos de América, 2005.
- [3] AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, Especificaciones, Primera Edición, Impreso en Estados Unidos de América, 2002.
- [4] Bowles Joseph E., Diseño de Acero Estructural, Primera Edición, Editorial Limusa, Impreso en México, 1993.
- [5] Fierro I. Carlos, "Diseño de un Pórtico Reticular a dos Aguas para la Cubierta de un Complejo de Canchas de Tenis", Tesis FIMCP – ESPOL, 2000.
- [6] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Norma 1623 para Perfiles Estructurales Conformados en Frío, Primera Edición, Impreso en Ecuador, 2000.
- [7] McCormac Jack C., Diseño de Estructuras de Aceros – Método LRFD – Editorial Alfaomega, Segunda Edición, Impreso en México, 2002.
- [8] McCormac Jack C., Diseño de Estructuras Metálicas, Ediciones Alfaomega, Segunda Edición, Impreso en México, 1991.
- [9] Nonnast Robert, El Proyectista de Estructuras Metálicas Tomo I y II, Decimo Octava Edición, Editorial Paraninfo, Impreso en España, 1993.
- [10] Wei – Wen Yu, Cold – Formed Steel Design, Editorial John Wiley & Sons, Tercera Edición, Impreso en Estados Unidos de América, 2000.

## 15. Conclusión y recomendaciones

### Conclusiones

Los objetivos perseguidos en el presente proyecto fueron cumplidos.

El crecimiento constante de la participación del acero en edificaciones, justifican la realización de este proyecto el cual implementa nuevas experiencias plasmadas en las especificaciones de la Norma AISI para Aceros Formados en Frío, mediante el método de diseño de factores de cargas y resistencia,

obteniéndose así una estructura cualificada para trabajar en el medio industrial.

La implementación del proyecto aquí desarrollado es factible; los resultados obtenidos fueron comprobados con otros trabajos desarrollados en talleres de la ciudad, y con análisis publicados en revistas técnicas como la de la Cámara de la construcción de Guayaquil.

Los precios determinados en el proyecto son de real aplicación, ya que fueron corroborados con precios de proyectos similares desarrollados en el mercado de la construcción.

Con la ejecución de este proyecto se empezará el crecimiento paulatino de la empresa FIBRAYESO, con lo que se augura nuevas plazas de trabajo.

### Recomendaciones

El presente proyecto fue desarrollado en una hoja electrónica, la cual se recomienda su uso por parte de los estudiantes que cursen materias afines a este proyecto, con el fin de verificar resultados obtenidos en sus cálculos.

Hacer cumplir las normas de construcción para evitar accidentes.

Tener cuidado con el tiempo de ejecución del proyecto, porque éste depende de la experiencia del personal involucrado.

---

**Ing. Ernesto Martínez Lozano**  
**Visto Bueno del Director de Tesis**  
**Fecha: 06/11/2009**

---

**Sr. Víctor H. Velasco Galarza**  
**Egresado de Ingeniería Mecánica**  
**Tesista FIMCP**