

Análisis Económico de la Estructura Metálica para una Bodega Industrial

• Jesús Ladino Vargas ¹

• Jorge Antonio Zamora Restrepo ²

La industria nacional, para salir bien librada de la competencia generada por la apertura económica, requiere de capacitación, tecnología y organización que optimice recursos, diseños y procesos. En el campo de las estructuras, los diseños deben ser seguros, para soportar cargas evitando deformaciones excesivas; funcionales, para posibilitar su construcción en la forma más ventajosa y económica empleando secciones livianas, de fácil fabricación montaje y mantenimiento, para asegurar su competitividad en el mercado.

El problema del cual nos ocupa este trabajo se formula de la siguiente manera: ¿cuáles son los criterios y parámetros que determinan la solución más económica entre dos alternativas de diseño de la estructura metálica para una bodega industrial?

Para solucionarlo se desarrolla la evaluación de cargas, se describen y analizan los materiales disponibles y accesorios, los sistemas de limpieza, protección, proceso de fabricación, montaje, aseguramiento de la calidad, control de obra, análisis y diseño de elementos estructurales de la bodega industrial y por último se evalúan económicamente las alternativas.

La investigación se basó principalmente en los siguientes textos:

«Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes. Decreto Ley 1400 de 1984», «Introducción al Diseño de Estructuras de Acero por Luis Rafael Prieto Serrano», «Manual of steel Construction» AISC., la estructura metálica hoy, por Ramón Arguelles Álvarez», «Diseño Estructuras de Acero, por Bresler, Lin y Scalzi».

Como ayudas para el cálculo rápido de estructuras se incluyen en la parte final, figuras con las tablas y gráficas que indican las cargas máximas admisibles a compresión y tensión como función de las posibles combinaciones de secciones comerciales y la distancia entre apoyos (ver figura 7).

Para construir la superestructura de una bodega industrial, se utiliza el acero por las ventajas que ofrece sobre otros materiales como su alta resistencia por unidad de peso (disminuye cargas muertas y cimentación), se dispone de mayor espacio libre, por sus propiedades mecánicas uniformes con el tiempo se logra precisión en el diseño, por su gran velocidad en el suministro, instalación y reutilización, y porque su ductilidad permite deformaciones considerables alertando sobre fallas.

El acero estructural disminuye el costo al cubrir grandes luces, es de fácil

fabricación en zonas industriales y transporte a lugares apartados escasos en materiales de construcción.

Con el objeto de garantizar la buena calidad de las construcciones metálicas, estas deben ser diseñadas, fabricadas y montadas siguiendo normas competentes en cada aspecto como el CCCSR, ICONTEC 2001, AISC, AWS, ASTM, AASHTO, SSPC, etc.

Materiales

Para la construcción de edificaciones metálicas se dispone de:

Perfiles originales de acería laminados en caliente, perfiles formados en frío a partir de lámina, perfiles electrosoldados, perfiles prefabricados a partir de chapas unidas con soldadura eléctrica, tornillería de resistencia baja, media y alta, soldadura aplicada por diferentes procedimientos, limpiezas y protección (pinturas), según condiciones de trabajo (en el estudio se definen cada uno de ellos y se especifican sus principales características).

Proceso de Construcción Metálica

El proceso de construcción metálica comprende tres actividades básicas que son: comercial, ingeniería y fabricación, todas ellas basadas en las necesidades y especificaciones arquitectónicas, económicas y funcionales para lo cual se siguen pasos como:

Términos comerciales del contrato, estudio de alternativas de solución, selección de las más convenientes según costos, plazo, facilidad de fabricación y montaje. Elaboración de memorias de cálculo estructural y planos de taller especificando cantidad y tipo de materiales para su compra.

Una vez terminado el diseño y los planos de taller, deberán compararse los materiales estimados en la propuesta con los perfiles requeridos, con el fin de controlar el presupuesto.

La fabricación en el taller se debe efectuar según los planos definitivos y especificaciones técnicas, cumpliendo los plazos contractuales y la secuencia más conveniente por transporte y montaje.

Aseguramiento de la Calidad

Para garantizar que el proyecto sea ejecutado de acuerdo con las especificaciones del cliente, es indispensable que el fabricante desarrolle las labores de aseguramiento de la calidad, según la norma ISO 9000 en todas las etapas (administración, diseño, fabricación y montaje) y presente los certificados técnicos de materiales a la interventoría para su vigilancia y control.

Las etapas de fabricación y montaje deben ser supervisadas y evaluadas permanentemente por la interventoría en cuanto a los procedimientos de soldadura y calificación de operarios para garantizar la calidad de las sol-

daduras de acuerdo con las normas del Código Americano de soldadura AWS D.1.1-92.

Criterios de Análisis y Diseño

La adecuada selección y combinación de materiales, perfiles, conexiones, detalles constructivos, procesos de fabricación y montaje, dan las directrices de diseño.

Los elementos componentes de la estructura, uno a uno deben ser capaces de soportar y transmitir las cargas que se pueden presentar, tanto gravitacionales, de sismo, viento e impacto garantizando la seguridad de todo el conjunto según las normas y la buena práctica de especificaciones del diseño metálico.

Secuencia de Análisis

Determinación de las dimensiones más importantes como: ancho y longitud total de la construcción, ancho y longitud proyectada total de cubierta, altura libre interior de bodega, zonas de acceso etc.

Distribución aproximada de ejes para colocación de columnas o pórticos.

Determinación de los materiales de construcción de cerramientos y de cubierta.

Localización de elementos para manejo de aguas, dirección de desagüe de tejas de cubiertas, canales, bajantes, etc.

Localización de elementos para soporte de tejas de cubierta según las pendientes mínimas y distancias máximas recomendadas entre apoyos.

Con la distribución geométrica obligada, se deben plantear diferentes soluciones para cada elemento estructural.

- Correas de cubierta y fachada en almallena (perfiles originales de acería tipo doble «T» y prefabricados formados a partir de lámina), lámina doblada, celosía (armaduras o entramados para formar elementos livianos muy resistentes).
- Cerchas en celosía con perfiles originales de Acería conectadas con tornillos, soldadura o combinación de las anteriores, descolgadas en el apoyo, planas y arriostradas transversalmente, o espaciales.
- Columnas en celosía, almallena o combinaciones entre estas.
- Arriostrado vertical en varilla o perfil original.
- Pórticos. Reemplazan las columnas y cerchas, por lo tanto soportan los elementos y cargas de cubiertas, fachada, viento y sismo, pueden ser soldados o atornillados, construidos en almallena o celosía.

Alternativas de Solución

Para el desarrollo del trabajo se tomaron dos alternativas de solución así:

- **Alternativa I:** Solución con columnas y cerchas la cual está formada por: Columnas, cerchas, correas de cubierta, correas de fachada y estructura de culata (ver figura 1,2 y 4).
- **Alternativa II :** Solución con pórticos que comprende: pórticos triarticulados, correas de cubierta, correas de fachada y estructura de culata (ver figura 3 y 4).

Análisis y Diseño de la Bodega Industrial

Las dimensiones principales son: ancho 20 mt, largo 40 mt, altura libre interior 5 mt, cubierta de teja de asbesto-cemento (ver figura 5), zona de riesgo sísmico intermedio, perfil del suelo S3, para montaje en Santafé de Bogotá, para la distribución en planta ver figura 1.

Para las combinaciones de carga se aplica el método de esfuerzos, de trabajo, diseñando para el efecto más desfavorable entre:

• Carga muerta	D
• Carga muerta más viva	D + L
• Carga muerta más viento	D + W
• Carga muerta más sismo	D + E
• Carga muerta más viva más viento	D + L + W
• Carga muerta más viva más sismo	D + L + E

Las cargas de sismo consideradas por el método de análisis de fuerza horizontal equivalente.

Los primeros elementos independientes para el diseño son las correas que soportan las tejas, el peso propio, la carga viva y el viento, con lo cual se realiza su evaluación de cargas, el predimensionamiento, diseño de las cintas superior e inferior, diagonales y conexiones.

Las reacciones originadas por las correas en sus apoyos para las diferentes combinaciones de cargas sumado al peso propio de la cercha son las cargas a ser soportadas por estas en cada nudo, el análisis estructural se realizó con el programa de computador SODA 3.2 de ACRONYM SOFWARD INC, con los resultados se diseñan las cintas, montantes, diagonales, conexiones y apoyos.

Para el análisis de las columnas se consideran las reacciones de las correas de cubierta, fachada y peso propio en cada condición de carga, con los resultados se diseñaron los parales interiores, exteriores, cintas, montantes, diagonales, horizontales, conexiones, articulaciones, bases y anclajes.

La solución estructural de la culata es común para las dos alternativas, las cargas actuantes en cada nudo por carga viva más muerta y viento se muestra en la figura 4, los principales elementos según el orden de diseño son: correas de fachada, viga de culata, columna esquinera y columna de culata; el diseño se realizó para cada miembro componente y como conjunto.

Análisis Económico

Los criterios básicos para la selección de la alternativa más ventajosa son:

Las cantidades de obra o resúmenes de material referenciadas por peso (kg).

Los análisis de precios unitarios considerando los costos directos e indirectos que intervienen en cada solución referenciada a la unidad de peso (kg).

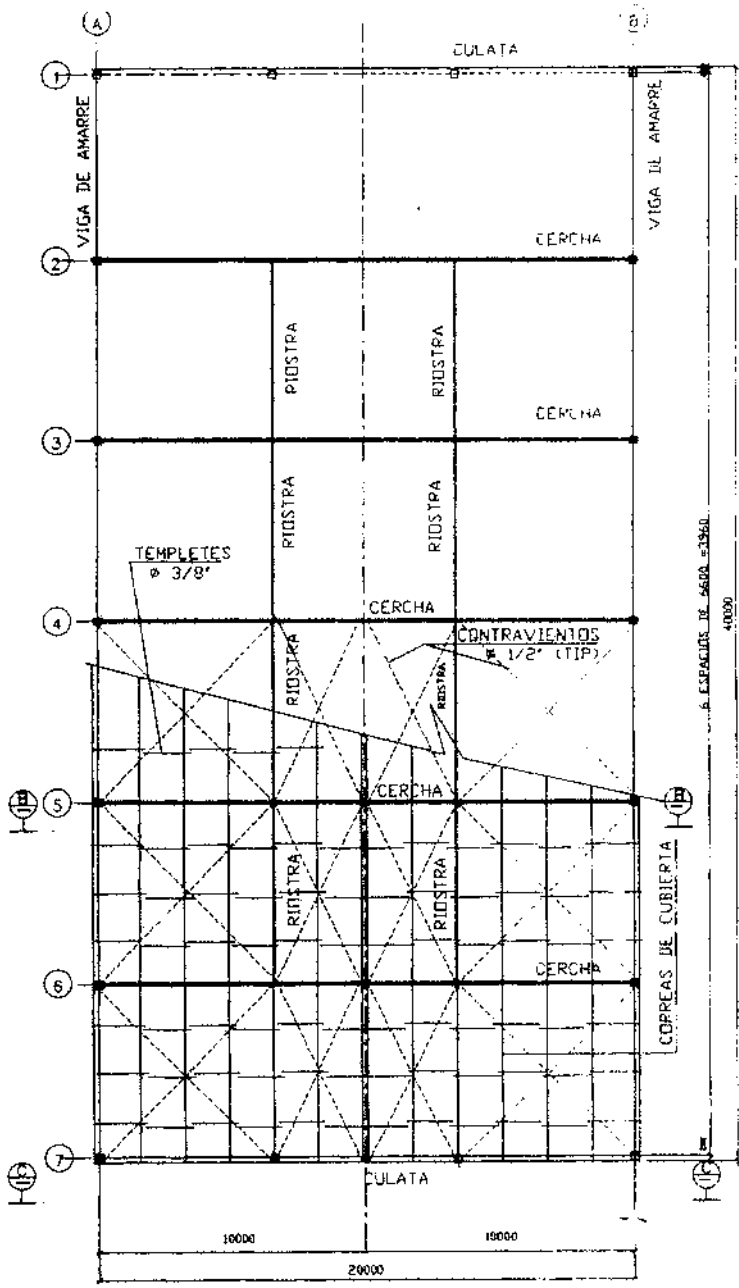
Los plazos de fabricación y montaje son determinados según el programa general de obra y disponibilidad de producción en planta.

Del análisis y diseño detallado de las dos alternativas se concluye:

ALTERNATIVA		CERCHA-	PORTICO
ELEMENTO	UNIDAD	COLUMNA	TRIARTICULADO
Peso Total	kg.	11430	10611
Cuantía	kg./m ²	14.3	13.3
Precio unitario	\$/kg.	1434	1362
Precio por m ²	\$/m ²	20488	18079
Plazo de fabricación	semanas	8	7.5

Tabla No. 1

La alternativa más favorable corresponde a la de pórticos triarticulados de acuerdo con el cuadro de resumen anterior.



PLANTA GENERAL DE CUBIERTA

Figura 1 - Planta general de cubierta de la bodega industrial

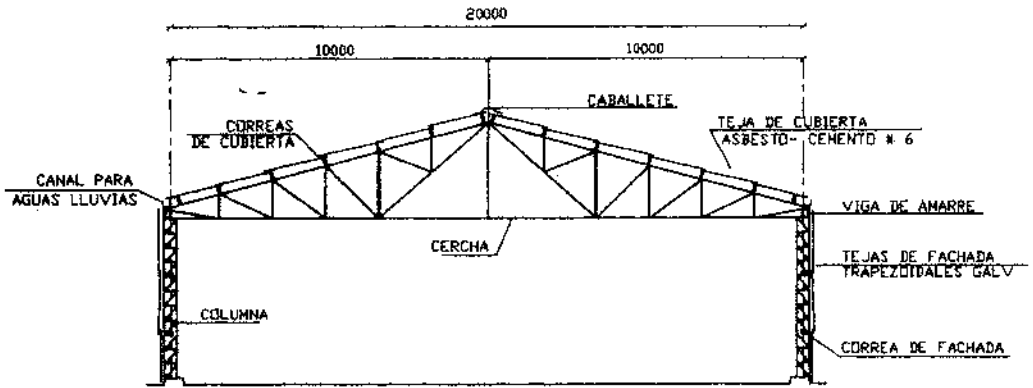
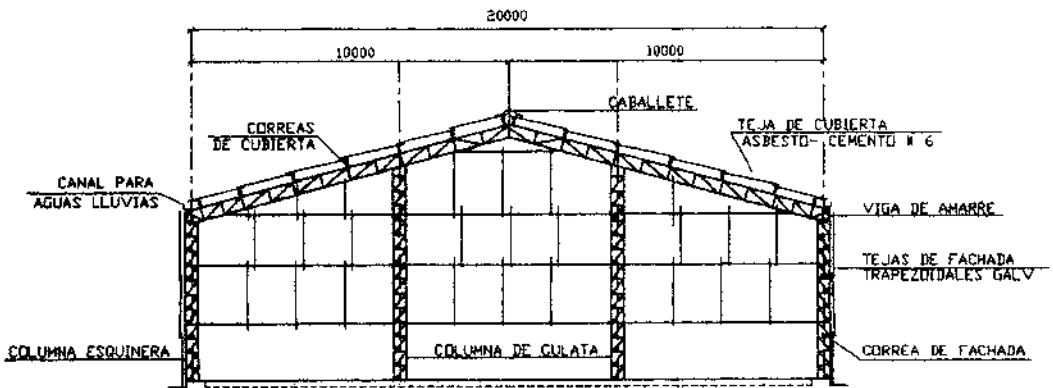


Figura No.2

CORTE B-B



CORTE C-C

Figura 3 - Cortes transversales - El corte B-B corresponde a la alternativa cercha - columna

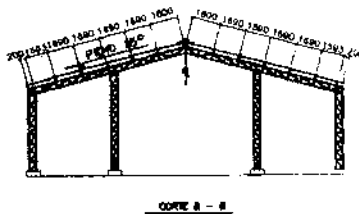
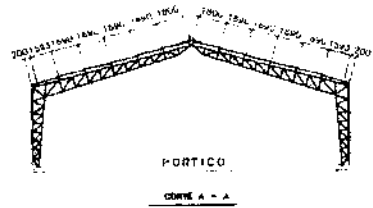
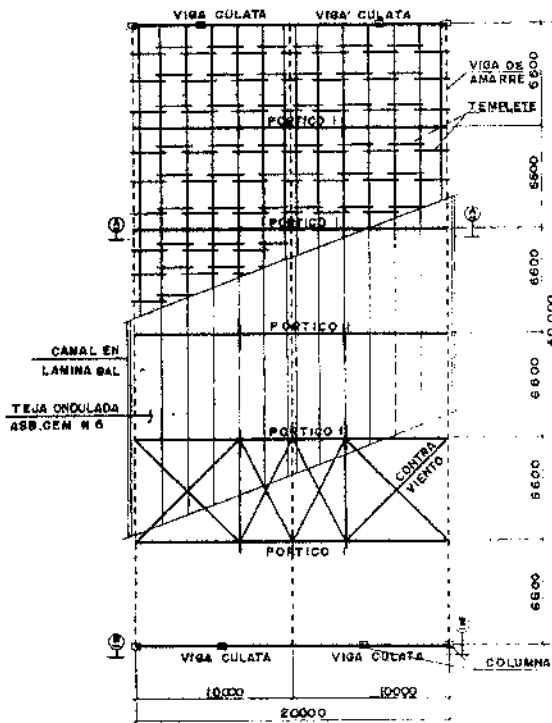


Figura 4 Planta general de cubierta y cortes transversales de la bodega industrial, alternativa con pórticos triarticulados.

Selección de materiales para la cubierta y fachada en bodegas industriales

MATERIAL	TIPO	FACHADA	CUBIERTA	PESO	kg/m ²	COMERCIALIZACION	ESTRUCTURA DE SOPORTE REQUERIDA	AISLAMIENTO	
								TERMICO	ACUSTICO
Mamposteria	Ladrillo	X		Alto		Facil	Columnas y vigas de cemento	Bueno	Bueno
	Macizo 20 cm	X			360				
	Hueco 20-cm	X			260				
Asbesto cemento	Ondulada	X	X	Medio	18	Facil	Correas metalicas livianas	Medio	Bueno
	Canaleta 43	X	X		30				
	Canaleta 90	X	X		22				
	Espanola		X		18				
Lamina de acero galvanizada				Liviana					
	Ondulada (de zinc)	X	X		3.5	Especial	Correas metalicas muy livianas	Bajo	Bajo
	Trapezoidal (arquitect.)	X	X		4.0	Especial			
	Canaleta (luxalon)		X		8.0	Especial			
Aluminio	Ondulada		X	Muy Liviana	1.7	Especial	Correas metalicas muy livianas	Bueno	Bueno
	Trapezoidal		X		1.9	Especial			
Capas de aluminio asfalto y acero	Climatizadas			Liviana	5.3	Especial Especial	Correas metalicas livianas	Muy Bueno	Muy Bueno
	Cindutec	X	X						
	Cindurib	X	X						
Acrilicos	Onduladas	X	X	Liviana	6.0	Especial Especial	Correas metalicas livianas	Bajo	Bajo
	Canaleta	X	X		6.0				
Vidrio	Vitrolit		X	Medio	18	Muy especial	Correas metalicas livianas	Bajo	Bajo
Plastico	Ajoover	X	X			Facil		Bajo	Bajo
Fibra de vidrio	Shingle Fiber Glass		X	Medio		Muy especial		Bajo	Bajo

Fuente: Ladino - Zamora

Figura 5 Cuadro general para selección de materiales de cubierta y fachada

Angulos de alas iguales

ANGULOS DOBLES				SECCION							
Tamaño pg.	Espesor pg.	PESO kg/ml.	AREA cm ²	EJES XX (HORIZONTAL)				EJES YY (VERTICAL)			
				Inercia cm ⁴	Módulo cm ³	Radio cm.	GiroCentroid cm.	Inercia cm ⁴	Módulo cm ³	Radio cm.	GiroCentroid cm.
3/4»	1/8»	1.76	2.24	0.52	1.08	0.48	0.69	1.78	0.85	0.89	0.76
1»	1/8»	2.36	2.98	1.66	0.96	0.76	0.76	4.16	1.54	1.19	0.92
1 1/4»	1/8»	3.00	3.82	3.66	1.64	0.96	0.91	8.02	2.41	1.45	1.07
1 1/2»	1/8»	3.66	4.64	6.66	2.30	1.19	1.06	13.55	3.41	1.71	1.22
	3/16»	5.36	6.84	9.16	3.28	1.17	1.11	21.59	6.33	1.78	1.35
2»	1/4»	6.96	8.90	11.66	4.25	1.14	1.19	31.69	7.73	1.69	1.51
	1/8»	4.92	6.18	15.82	4.26	1.60	1.39	30.64	5.85	2.23	1.55
2 1/2»	3/16»	7.26	9.14	22.48	6.26	1.57	1.44	48.22	9.07	2.30	1.68
	1/4»	9.50	12.14	29.14	8.20	1.55	1.49	68.80	12.75	2.38	1.81
3»	3/16»	9.14	11.60	45.78	9.84	1.98	1.75	91.63	13.91	2.81	1.99
	1/4»	12.20	15.32	58.26	12.78	1.95	1.82	128.26	19.24	2.89	2.14
3 1/2»	1/4»	14.58	18.60	99.88	19.02	2.35	2.13	211.30	26.62	3.37	2.45
	5/16»	18.16	23.00	124.86	23.28	2.34	2.20	279.97	34.92	3.49	2.60
4»	3/8»	21.42	27.20	149.84	27.20	2.31	2.26	353.49	43.66	3.80	2.74
	1/2»	27.98	35.40	183.12	36.06	2.29	2.30	500.66	60.86	3.76	3.00
4 1/2»	1/4»	19.64	25.00	249.72	36.06	3.17	2.77	488.04	46.68	4.42	3.09
	5/16»	24.40	31.00	307.98	42.60	3.15	2.84	682.78	69.94	4.62	3.24
5»	3/8»	29.16	37.00	368.58	49.16	3.12	2.89	788.85	74.17	4.62	3.37
	1/2»	39.00	48.40	486.14	86.55	3.10	3.00	1106.86	102.42	4.78	3.64
5 1/2»	3/8»	38.60	46.60	724.18	78.68	3.96	3.68	1472.11	111.72	5.62	4.01
	1/2»	48.22	61.20	940.62	104.90	3.91	3.63	2053.83	154.02	5.79	4.27
6»	3/8»	44.34	58.20	1281.90	114.72	4.77	4.16	2632.90	161.16	8.60	4.64
	1/2»	58.34	74.20	1656.48	150.78	4.72	4.27	3441.66	216.80	6.81	4.91

Figura No. 6 LA SEPARACION ENTRE ANGULOS PARA LA SECCION T ES IGUAL AL ESPESOR DEL PERFIL CONSIDERADO

L 3/4" x 1/8"

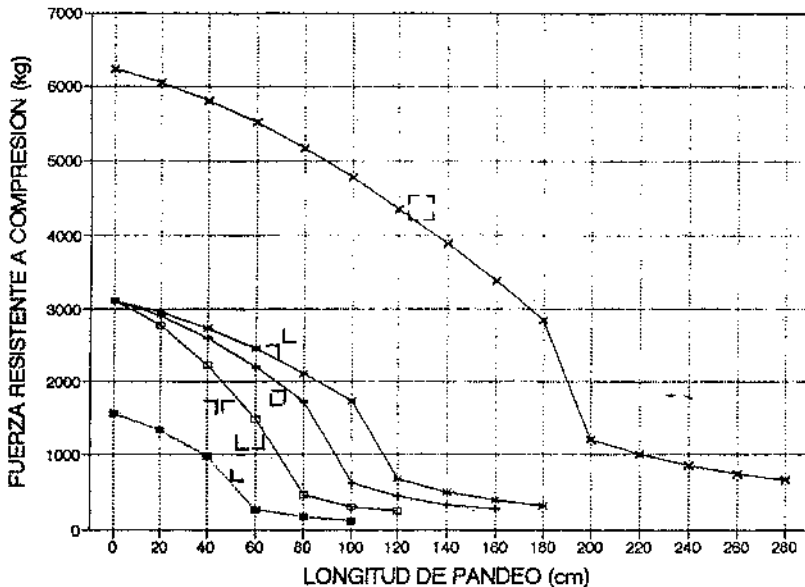


Figura No. 7 Cuadro para diseño simplificado de perfiles angulares a compresión, función de la longitud y el tipo de sección.

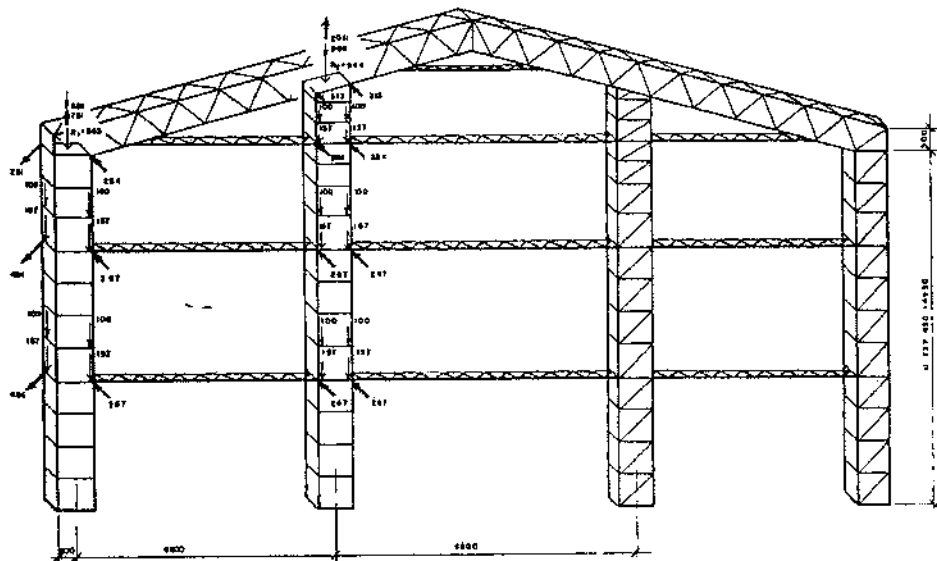


Figura 8 Cargas actuantes sobre la estructura de culata

CONVENCIONES	
—	CARGA VIVA
—	CARGA MUERTA
—	VIENTO

Bibliografía



AISC, Manual of steel construction. New York: American Institute of Steel Construction, Inc, 1985, 805 p.

ARGUELLES ALVARES, Ramón. La estructura metálica hoy.

Tomo 1. Madrid: Librería técnica Bellisco, 1983, 420 p.

AWS, American Welding Society. New York: American Welding Society. 1992, 840 p.

CÓDIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMORESISTENTES

Decreto 1.400 de 1984. Bogotá: Legis, 1990, 318 p.

COMPAÑIA SIDERÚRGICA DE GUADALAJARA S.A. DE C.V. Manual para la construcción en acero. México: Votoc, 1993, 351 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS

Norma ICONTEC 2001, Bogotá: 1990, 98 p.

LEONTOVICH, Valerian. Pórticos y arcos. México: Ceasa, 1961, 522 p.

PRIETO SERRANO, Luis Rafael. Introducción al diseño de estructura de acero. Tunja: UPTC, Facultad de Ingeniería Escuela de Vías y Transportes, 1991, 209 p.

PRIMER ENCUENTRO LATINOAMERICANO DE LAS CONSTRUCCIONES METÁLICAS. Bogotá, 1994, 223 p.

TORRES MUÑOZ, Alicia. Manual para la presentación del trabajo de grado. Bogotá: Universidad Militar «Nueva Granada» facultad de ingeniería civil. Inédito, 1984, 176 p.

-----, Manual de metodología de la investigación.

Bogotá: Plaza & Janés. Biblioteca Policial V. I. 1986, 176 p.

-----, Metodología del trabajo científico aplicado a la ingeniería civil. Santafé de Bogotá: Universidad Militar «Nueva Granada» facultad de ingeniería civil. Inédito, 1992. 225 p.

URIBE ESCAMILLA, Jairo. Análisis de estructuras. Bogotá: Unianandes, 1981, 840 p.

VARELA, Rodrigo. Evaluación económica de alternativas operacionales y proyectos de inversión. Bogotá: Norma, 1982, 389 p.