

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



“Diseño Alternativo de Galpones con Correas Tipo G y Tipo Z
Galvanizadas, Análisis y Ventajas Comparativas con el
Sistema Convencional”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

ANGEL EDUARDO ALBÁN MORALES

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2004

AGRADECIMIENTO

A Dios, por las bendiciones que siempre he recibido.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por mi desarrollo académico profesional.

Al Ingeniero Manuel Helguero, por la dedicación prestada como director de Tesis.

A todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo

DEDICATORIA

A mis padres, Lcdo. Ángel Albán Erazo y Lcda. Blanca Morales por su infinito amor y su apoyo incondicional.

A mis hermanas Sandra, Blanca y Soraya, por transmitirme su profesionalismo y su espíritu emprendedor.

A mi esposa Lupe y a mis hijas Lissette, Eliana y Valeria, inspiración y motivo para mi búsqueda constante de superación.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Federico Camacho B.
VOCAL

Ing. Alfredo Torres G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Ángel Eduardo Albán Morales
Septiembre de 2004

RESUMEN

Esta tesis de grado se desarrolla en la empresa PLYCEM ROOFTEC PLYTEC S.A., la misma que se dedica a la fabricación y comercialización de sistemas constructivos livianos para techo y paredes. Entre los diversos productos que se fabrican y comercializan se encuentran:

- **PANELES PARA LOSA:** conocido como Steel Deck, es una placa de acero estructural galvanizado con corrugaciones trapezoidales, en la cual se vierte hormigón y funciona como placa colaborante en la construcción de losas en edificios.

El resalte existente en la placa dispuesto transversalmente, produce una adherencia perfecta con el hormigón para de esta forma evitar su deslizamiento y garantizar su unión monolítica capaz de resistir cargas puntuales y distribuidas tanto verticales como horizontales.

- **PANELES PARA TECHO Y PAREDES:** usados para cubiertas y fachadas tanto en el sector industrial como residencial, dependiendo de su aplicación y uso se presentan fabricaciones con acero comercial revestidos con aleación de aluminio y zinc conocida como galvalume, así como de material prepintado el mismo que tiene como base el acero comercial con galvalume, una capa de primer epóxico y luego la capa de pintura de acabado. Entre los diferentes paneles de techo y paredes se tienen: Master 1000, Super Techo 5 tec, Nuevo Super Alum, Techo Fuerte Rocafuerte, Master Wall, Master Pro y Teja Metálica.

- **PERFILERIA:** utilizada para los sistemas de construcción livianos para cielos rasos y divisiones interiores tanto de Gypsum como de Fibrolit.

También en la fabricación de correa G galvanizada con aplicación en la formación tanto de cerchas como de columnas y vigas para sostener losas fabricadas con placas colaborantes, cuyo acceso para mantenimiento periódico es complejo, por lo que su recubrimiento con galvalume permite aislar los efectos de la corrosión. Además se utiliza en la fabricación de correas Z galvanizadas para sostener paneles metálicos de cubierta con características de bajo peso.

Toda esta perfilería se produce con acero estructural galvanizado, sus aristas son definidas y con pliegues que aumentan su rigidización, con lo que se obtienen excelentes características mecánicas utilizando espesores menores a 1.6 mm.

Actualmente la empresa está introduciendo en el mercado ecuatoriano el nuevo tipo de correa Z y G galvanizadas, las cuales garantizan menor peso y mayor resistencia basado en su forma y características que maximizan la inercia en la sección transversal.

La aplicabilidad como las ventajas individuales que presenta este tipo de correas son amplias ante sus similares existentes en el mercado, las que se fabrican con acero comercial sin ningún tipo de recubrimiento, entre ellas, menor peso, costos nulos de mantenimiento, mayor facilidad de transportación; este conjunto de ventajas podría tener viabilidad en la construcción de cerchas para galpones; por lo que, nuestro interés es realizar un estudio mediante el diseño de un galpón industrial sometido a cargas de viento, lluvia, y el propio peso tanto de cerchas, correas y panel, con el fin de observar las ventajas existentes entre los tipos de correas utilizadas G y Z galvanizadas y los perfiles de acero comercial.

Entre los objetivos que se cubrirá en el estudio serán:

- Determinar cual correa aporta menor peso a la estructura.
- Encontrar el factor de incidencia en la disminución del peso total del galpón.
- Determinar el porcentaje de ahorro entre los diseños alternativos del galpón.

Los parámetros a usarse en el diseño del galpón estarán de acuerdo a las normas del Instituto Americano para la Construcción en Acero (AISC), las cuales contemplan las condiciones de carga a las que va estar sometida la estructura. Además para la respectiva preparación superficial y sistema de pintura se utilizarán normas del Consejo para Pintar Estructuras de Acero (SSPC).

Finalmente se espera obtener resultados que permitan la elección del sistema óptimo a nivel de precios, resistencia y calidad, para que a futuro este pueda ser implementado en el mercado ecuatoriano de manera eficaz y eficiente.

INDICE GENERAL

RESUMEN	VI
INDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGIA	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS	XV
INDICE DE PLANOS	XVII
INTRODUCCION	1

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	3
1.1 Entorno empresarial.....	3
1.2 Análisis y especificación del problema	6
1.3 Características técnicas y tipo de material de las correas	
G y Z galvanizadas	10
1.4 Normas a utilizar	20

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE GALPÓN	21
2.1 Cargas a considerar	21
2.2 Diseño de galpón con canales y correas convencionales de acero comercial.....	35
2.2.1 Análisis estructural de cercha y selección	36
2.2.2 Selección de canales y correas	39
2.3 Diseño de galpón con correas tipo G y Z galvanizadas	54
2.3.1 Análisis estructural de cercha y selección	55
2.3.2 Selección de tamaños de correa G y Z.....	57

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE AMBOS DISEÑOS	73
3.1 Respecto al costo	73
3.2 Respecto al peso.....	76
3.3 Respecto a la durabilidad	78
3.4 Matriz de decisión.....	86

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

cm	=	centímetro
cm ²	=	centímetros cuadrados
Gln	=	Galones
Kg	=	Kilogramo
Lbs	=	Libras
Lts	=	Litros
m	=	Metros
m ²	=	Metros cuadrados
m ³	=	Metros cúbicos
mills	=	Milésimas de pulgada
mm	=	Milímetros
Seg,s	=	Segundos
u	=	Unidades

SIMBOLOGÍA

A	=	Área de perfil
$A_{lateral}$	=	Área lateral total entre cerchas
A_{barlo}	=	Área de barlovento
A_{techo}	=	Área total de techo entre estructuras
A_{sota}	=	Área de sotavento
C_e	=	Coefficiente del factor por ráfagas de viento
C_q	=	Factor de forma
D	=	Carga muerta
E	=	Carga por terremoto, módulo de Young
e_{equiv}	=	Espesor equivalente
e_{hielo}	=	Espesor de hielo
F	=	Fuerza axial en tensión
$H_{columna}$	=	Altura total de la columna del galpón
I	=	Inercia
i	=	Tasa pasiva bancaria
k	=	Radio de inercia
L	=	Carga viva debida al movimiento de equipos, longitud de elemento analizado
L_c	=	Distancia entre correas
L_n	=	Distancia neta entre correas
L_r	=	Carga debida al peso del techo
L_{techo}	=	Longitud total de cubierta
L_{vano}	=	Longitud entre cerchas
m_{hielo}	=	Peso del hielo
P	=	Carga admisible por correa
$P_{hielo/no}$	=	Fuerza de hielo nodal
$P_{lateral}$	=	Fuerza total aplicada lateralmente
P_{nodal}	=	Fuerza aplicada por nodo
P_{tb}	=	Fuerza total en barlovento
P_{techo}	=	Peso total de techo entre estructuras
P_{ts}	=	Fuerza total en sotavento
P_u	=	Carga total muerta por cercha
P_{viento}	=	Fuerza ejercida por el viento en barlovento o sotavento
$P_{v/nodal}$	=	Fuerza de viento nodal
P_w	=	Presión de trabajo ejercido por viento
p_{barlo}	=	Presión del viento en barlovento
p_{sota}	=	Presión del viento en sotavento

Q	= Carga viva sugerida
Q_{hielo}	= Fuerza de hielo por unidad de área
q	= Presión de velocidad del viento
q_s	= Presión de estancamiento del viento a la altura estándar
R	= Carga de lluvia o hielo
S	= Carga de nieve
S_r	= Relación de esbeltez
S_{rD}	= Relación de esbeltez crítica
S_y	= Esfuerzo de fluencia
V	= Velocidad del viento
V_{hielo}	= Volumen de hielo
VP	= Valor presente
W	= Carga de viento
W_1	= Carga de viento en cubierta
W_2	= Carga de viento en paredes laterales de galpón
w/m^2	= carga uniformemente distribuida por unidad de área
η	= Factor de seguridad
σ	= Esfuerzo de trabajo
σ_p	= Esfuerzo de pandeo
ρ_{hielo}	= Densidad del hielo
π	= 3.14159265
#	= Número
%	= Porcentaje
\$	= Dólares

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1	Diseño de forma de galpón y estructura9
Figura 1.2	Nomenclatura de parámetros de correas G 10
Figura 1.3	Nomenclatura de parámetros de correas Z..... 12
Figura 1.4	Tiempo de vida útil del espesor promedio de galvanizado en diferentes medios..... 18
Figura 2.1a	Carga muerta aplicada en los nodos superiores e inferiores de estructura.....25
Figura 2.1b	Carga lateral por efectos de viento en paredes contempladas en diseño25
Figura 2.1c	Distribución de carga viva aplicada en nodos superiores en diseño25
Figura 2.2	Identificación de elementos en estructura.....38

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.1 Especificaciones técnicas de correas G.....	11
Tabla 1.2 Especificaciones técnicas de correas Z	13
Tabla 1.3 Espesores mínimos de recubrimientos	14
Tabla 2.1 Tabla de carga para paneles Master 1000.....	26
Tabla 2.2 Factor de altura de viga	31
Tabla 2.3 Factor de forma de viga	31
Tabla 2.4 Cargas generales para análisis de estructura convencional	37
Tabla 2.5 Fuerzas axiales de elementos en estructura convencional	40
Tabla 2.6 Cargas críticas para tensión y pandeo.....	42
Tabla 2.7 Tipos de perfiles analizados.....	43
Tabla 2.8 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo.....	46
Tabla 2.9 Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de columnas	47
Tabla 2.10 Cargas críticas en diagonales de centro de cubierta	48
Tabla 2.11 Tipos de perfiles analizados.....	48
Tabla 2.12 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de columnas y perfiles respectivos	52
Tabla 2.13 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de cubierta y perfiles respectivos.....	52
Tabla 2.14 Cargas generales para análisis de estructura	

galvanizada.....	56
Tabla 2.15 Fuerzas axiales de elementos en estructura galvanizada.....	58
Tabla 2.16 Cargas críticas para tensión y pandeo en galpón galvanizado.....	61
Tabla 2.17 Tipos de perfiles analizados.....	61
Tabla 2.18 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en perfiles G de contorno.....	65
Tabla 2.19 Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de columnas de galpón galvanizado.....	66
Tabla 2.20 Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de centro de cubierta de galpón galvanizado.....	67
Tabla 2.21 Tipos de perfiles analizados.....	67
Tabla 2.22 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de columnas y perfiles respectivos.....	71
Tabla 2.23 Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de cubierta y perfiles respectivos.....	71
Tabla 3.1 Costos de galpón convencional por tramo.....	74
Tabla 3.2 Costos de galpón con elementos galvanizados por tramo.....	75
Tabla 3.3 Peso por unidad de tramo de galpón convencional.....	77
Tabla 3.4 Peso por unidad de tramo de galpón galvanizado.....	77
Tabla 3.5 Matrices de decisión para diferentes ambientes bajo G90.....	87

INDICE DE PLANOS

Plano	1	Galpón convencional: medidas generales
Plano	2	Galpón convencional: disposición de elementos
Plano	3	Galpón convencional: disposición de elementos
Plano	4	Galpón galvanizado: medidas generales
Plano	5	Galpón galvanizado: disposición de elementos
Plano	6	Galpón galvanizado: disposición de elementos

INTRODUCCIÓN

Esta tesis de grado se desarrolla en la empresa PLYCEM ROOFTEC PLYTEC S.A., dedicada a la fabricación y comercialización de sistemas constructivos livianos para techo y paredes. Entre los diversos productos que se fabrican y comercializan se encuentran:

- Paneles para losa o Steel Deck.
- Paneles para techo y paredes: usados para cubiertas y fachadas tanto en el sector industrial como residencial.
- Perfilería utilizada para los sistemas de construcción livianos para cielos rasos y divisiones interiores tanto de Gypsum como de Fibrolit.

El interés de este trabajo es realizar un estudio mediante el diseño de un galpón industrial sometido a cargas de viento, lluvia, y el propio peso tanto de cerchas, correas y panel bajo ciertas condiciones como:

- Utilizando elementos estructurales introducidos actualmente en el mercado ecuatoriano como son el nuevo tipo de correa Z y G galvanizadas, las cuales garantizan menor peso y mayor resistencia basado en su forma y características.
- Utilizando elementos estructurales tradicionales, tales como canales doblados, ángulos y correas constituidos por acero comercial ASTM A-36.

Estos diseños realizados con el fin de hacer un análisis comparativo entre ambos, cuyos parámetros a observar serán:

- Aportación de menor peso a la estructura.
- Determinación del factor de incidencia en la disminución del peso total del galpón.
- Determinación del porcentaje de ahorro entre los diseños alternativos del galpón.

Las normas a usarse en el diseño del galpón estarán regidas de acuerdo a lo establecido por el Instituto Americano para la Construcción en Acero (AISC), en donde se contemplan las condiciones de carga a las que va estar sometida la estructura. La respectiva preparación superficial y sistema de pintura estarán bajo las normas del Consejo para Pintar Estructuras de Acero (SSPC), en lo que se refiere al diseño convencional, para evitar efectos corrosivos.

Capítulo 1

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.

1.1 Entorno empresarial.

La empresa PLYCEM ROOFTEC PLYTEC S.A., a partir del año 2000 y después de 6 años de presencia en el mercado, se ha convertido en el líder absoluto en el Ecuador en la fabricación y comercialización de sistemas constructivos livianos para techo y paredes. Este liderazgo se ha logrado a través del entendimiento de sus clientes, del mercado y de las necesidades que este presenta; lo que se ha traducido en productos de calidad con entregas puntuales, prestando un mejor servicio que el de la competencia y un asesoramiento oportuno a los profesionales de la construcción.

La misión de la empresa es:

MISIÓN

Producir y comercializar rentablemente productos y soluciones para la industria de la construcción con

énfasis en sistema livianos operando en un marco de ética, ecoeficiencia y responsabilidad social.

Dado que la administración mantiene un compromiso de responsabilidad social con sus clientes y teniendo como meta obtener un reconocimiento dentro del mercado latinoamericano, la empresa estableció su visión:

VISIÓN

Tener reconocimiento como grupo empresarial líder en Latinoamérica, conformado por empresas que crean valor económico operando dentro de un marco de ética, de ecoeficiencia y de responsabilidad social, de manera que se pueda contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas.

PLYCEM ROOFTEC PLYTEC S.A. bajo su concepción y pensamiento sistemático, estableció su filosofía y alcance dentro de todo su horizonte de tiempo:

FILOSOFÍA EMPRESARIAL

“SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN, PRODUCCIÓN Y ATENCIÓN AL CLIENTE INTERNO Y EXTERNO BASADO EN CALIDAD”

Para ofrecer:

- A los accionistas, una adecuada rentabilidad con proyecciones financieras crecientes.
- Al mercado de la construcción, productos rentables de forma oportuna y con calidad.
- Al cliente interno, seguridad, bienestar y un ambiente cordial.
- Al país, valor económico dentro de un marco de ética y ecoeficiencia.

Bajo los principios y valores que rigen la conducta de la empresa se mantienen:

PRINCIPIOS

- Atención con respeto al cliente
- Hacer las cosas bien desde el principio
- Innovar y mejorar continuamente
- Trabajar en equipo
- Crear valores
- Ser leal y cordial
- Querer y proteger el medio ambiente

VALORES

- Cultura de calidad
- Servicio al cliente interno y externo
- Creatividad

- Respeto a las personas y políticas de la empresa
- Crecimiento empresarial
- Disciplina en normas y procedimientos
- Reconocimiento al desempeño de las personas
- Lealtad a la empresa
- Integración de persona y proceso

Como políticas y objetivos de calidad, la empresa establece:

POLITICAS Y OBJETIVOS DE CALIDAD

Suministrar a nuestros clientes soluciones ecoeficientes en construsistemas dentro del marco establecido por la empresa, siguiendo un proceso de mejoramiento continuo y capacitación de nuestro personal, buscando la satisfacción de nuestros clientes y asegurando un entorno sano y seguro para nuestros colaboradores.

1.2 Análisis y especificación del problema

Uno de los objetivos básicos dentro del mundo del diseño es generar proyectos para satisfacer la demanda humana; demanda en la que intervienen además consideraciones económicas que son tan importantes en el proceso para tomar la decisión de ejecutar dicho proyecto. El hombre en el pasar de los tiempos ha tratado de optimizar recursos para buscar eficiencia al menor costo, buscando

para ello materiales que brinden mayor resistencia y menor peso. Al intervenir materiales con menor peso se optimiza la carga muerta en la estructura que se pretende diseñar manteniendo su resistencia y durabilidad ante cargas externas.

Actualmente los galpones son diseñados con elementos relativamente livianos comparados con aquellos que se diseñaban hace tan solo 20 años; usando en aquella época perfiles laminados que presentaban secciones transversales robustas que se sobredimensionaban dada la necesidad de soportar fuerzas y esfuerzos relativamente bajos. Los elementos actuales se encuentran formados por perfiles doblados en frío, presentando diferentes secciones transversales uniformes, puesto que están dispuestos a soportar tensión o compresión dado su posición como elemento dentro de una estructura.

Sin embargo aún se siguen buscando opciones que mejoren las condiciones actuales, es por ello que se han presentado alternativas dentro de estas secciones dobladas en frío, variando su geometría con el fin de aumentar su inercia y por tanto su capacidad de absorber esfuerzos en flexo-compresión.

PLYCEM ROOTEC PLYTEC S.A concientes que la variación de la inercia solo permitirá la absorción de mayores esfuerzos dados en flexo-compresión, vio la opción de alterar la composición de estos

perfiles doblados de acero ASTM A-36 a perfiles de acero estructural ASTM A653 SS, Grado 50, Clase 3 brindando con esto, que el mismo perfil absorba mayores esfuerzos tanto a tracción como a compresión; esto es logrado a través de la introducción al mercado de correas zeta Z y G, logrando adicionalmente eliminar costos de mantenimiento a corto plazo por el recubrimiento de galvanizado G 90 (0.90 onzas por pie²), que no se corroe fácilmente (1).

El interés en este proyecto es aplicar las bondades de estos perfiles Z y G. Para ello se genera un proyecto de investigación fundamentado en el diseño de una estructura con los perfiles antes mencionados y una estructura con materiales convencionales con composiciones de acero estructural ASTM A-36, con el fin de compararlos y buscar la alternativa más eficiente y económica.

En la figura 1.1 se detalla el diseño de forma tanto del galpón como también de la estructura. Forma utilizada normalmente en nuestro medio al momento de construir estructuras de galpones con medidas estandarizadas y una longitud de galpón de cuarenta y ocho metros, medida relativamente grande.

FIGURA 1.1

1.3 Características técnicas y tipo de material de las correas G y Z galvanizadas

Se presenta las propiedades de la correa tipo G galvanizada.

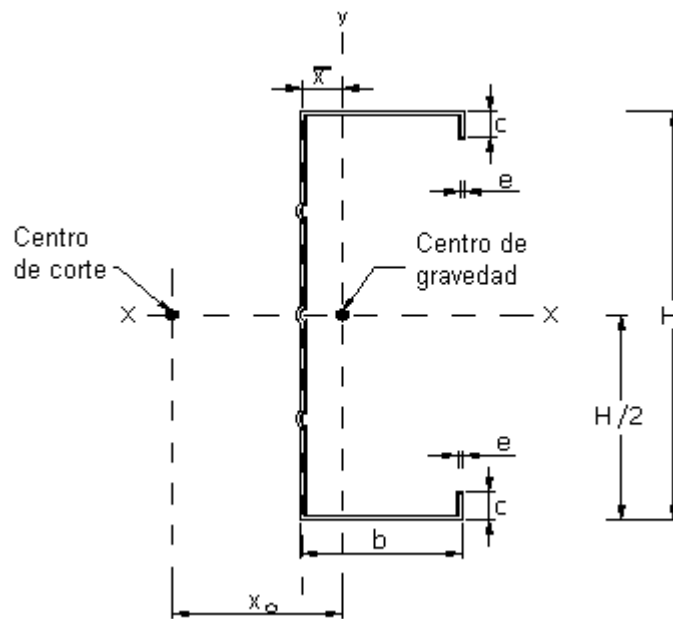


FIGURA 1.2.- Nomenclatura de parámetros de correa G

Tipo de Acero :	Acero Estructural, ASTM A 653 SS grado 50 , clase 3
Punto de Fluencia :	3.525 Kg/cm ² (50 Ksi)
Resistencia a la Rotura :	4.935 Kg/cm ² (70 Ksi)
Modulo de Elasticidad :	2.1 x 10 ⁶ Kg/cm ²
Galvanizado :	G 90 (0.90 onzas/pie ²)
Presentación :	6 metros de longitud (standard). longitudes mayores bajo pedido especial.

En la tabla siguiente, se presentan parámetros individuales.

Sección Nominal							Propiedades de Secciones							
SECTION REFERENCE	WEIGHT kg/m	AREA cm ²	DEPTH D mm	FLANGE mm	t mm	I _{xx} cm ⁴	I _{yy} cm ⁴	Z _{xx} cm ³	Z _{xc} cm ³	R _{xx} cm	R _{yy} cm	C _y cm	P ₀ N/mm ²	Q
142. C. 14.	3.16	4.03	142	64	1.4	133.3	22.0	18.77	17.31	5.73	2.33	1.95	320.1	0.65
142. C. 15.	3.38	4.31	142	64	1.5	142.40	23.5	20.05	18.93	5.72	2.32	1.95	325.1	0.67
142. C. 16.	3.60	4.58	142	64	1.6	151.4	24.9	21.32	20.49	5.72	2.32	1.95	329.5	0.71
142. C. 18.	4.03	5.13	142	64	1.8	169.3	27.7	23.80	23.43	5.71	2.31	1.95	336.8	0.76
142. C. 20.	4.46	5.68	142	64	2.0	187.0	30.5	26.33	26.15	5.70	2.30	1.95	342.7	0.80
172. C. 14.	3.60	4.59	172	69	1.4	218.70	28.80	25.43	22.90	6.86	2.49	1.99	304.20	0.56
172. C. 15.	3.85	4.91	172	69	1.5	233.80	30.70	27.18	25.13	6.85	2.48	1.99	310.20	0.60
172. C. 16.	4.11	5.24	172	69	1.6	248.70	32.60	28.92	27.31	6.85	2.48	1.99	315.60	0.63
172. C. 18.	4.61	5.87	172	69	1.8	278.30	36.30	32.36	31.47	6.84	2.47	1.99	324.50	0.68
172. C. 20.	5.10	6.50	172	69	2.0	307.60	39.90	35.77	35.32	6.83	2.46	1.99	331.60	0.72
172. C. 23.	5.81	7.40	172	69	2.3	351.00	45.20	40.81	40.67	6.81	2.45	1.99	339.90	0.78
172. C. 25.	6.31	8.04	172	69	2.5	379.50	48.70	44.13	44.07	6.80	2.44	1.99	344.30	0.81
202. C. 15.	4.21	5.36	202	69	1.5	339.20	32.20	33.58	31.25	7.90	2.43	1.83	295.40	0.55
202. C. 16.	4.49	5.72	202	69	1.6	360.90	34.20	35.73	33.92	7.90	2.43	1.83	301.60	0.58
202. C. 18.	5.03	6.41	202	69	1.8	404.10	38.10	40.01	39.01	7.89	2.42	1.83	312.10	0.63
202. C. 20.	5.57	7.10	202	69	2.0	446.90	41.90	44.24	43.74	7.88	2.41	1.83	320.40	0.67
202. C. 23.	6.35	8.09	202	69	2.3	510.20	47.40	50.52	50.36	7.86	2.40	1.83	330.20	0.71
202. C. 25.	6.90	8.79	202	69	2.5	551.90	51.10	54.65	54.58	7.85	2.39	1.83	335.40	0.74
232. C. 16.	5.11	6.50	232	76	1.6	535.40	47.10	46.16	42.57	9.04	2.68	1.98	287.70	0.53
232. C. 18.	5.73	7.29	232	76	1.8	599.80	52.50	51.71	49.42	9.03	2.67	1.98	299.70	0.58
232. C. 20.	6.34	8.08	232	76	2.0	663.70	57.90	57.21	55.90	9.02	2.66	1.99	309.30	0.62
232. C. 23.	7.26	9.24	232	76	2.3	758.40	65.70	65.38	64.88	9.00	2.65	1.99	320.50	0.67
232. C. 25.	7.86	10.01	232	76	2.5	820.90	70.70	70.77	70.52	8.99	2.64	1.99	326.50	0.69
262. C. 18.	6.25	7.96	262	80	1.8	822.50	61.70	62.79	59.31	10.11	2.77	1.99	287.30	0.53
262. C. 20.	6.92	8.82	262	80	2.0	910.40	68.00	69.49	67.35	10.10	2.76	1.99	298.10	0.57
262. C. 23.	7.92	10.09	262	80	2.3	1040.90	77.20	79.46	78.55	10.09	2.75	1.99	310.80	0.62
262. C. 25.	8.59	10.94	262	80	2.5	1127.00	83.20	86.03	85.56	10.08	2.74	1.99	317.60	0.65
262. C. 29.	9.88	12.61	262	80	2.9	1297.20	94.80	99.02	98.91	10.06	2.72	2.00	328.30	0.70
302. C. 23.	9.04	11.52	302	89	2.3	1566.70	108.70	103.76	101.23	11.59	3.05	2.17	297.90	0.57
302. C. 25.	9.80	12.49	302	89	2.5	1697.20	117.30	112.39	110.90	11.58	3.05	2.18	305.70	0.60
302. C. 29.	11.31	14.41	302	89	2.9	1955.30	134.00	129.49	129.03	11.56	3.03	2.18	318.10	0.65
342. C. 25.	10.98	13.99	342	97	2.5	2418.10	155.60	141.41	137.99	13.07	3.32	2.33	293.80	0.56
342. C. 29.	12.68	16.15	342	97	2.9	2788.00	178.00	163.04	161.78	13.05	3.30	2.33	307.80	0.61
342. C. 32.	13.94	17.76	342	97	3.2	3062.30	194.40	179.08	178.54	13.04	3.28	2.34	316.00	0.64

Tabla 1.1.- Especificaciones Técnicas de Correas G (1)

Se presenta las propiedades de la correa tipo Z galvanizada

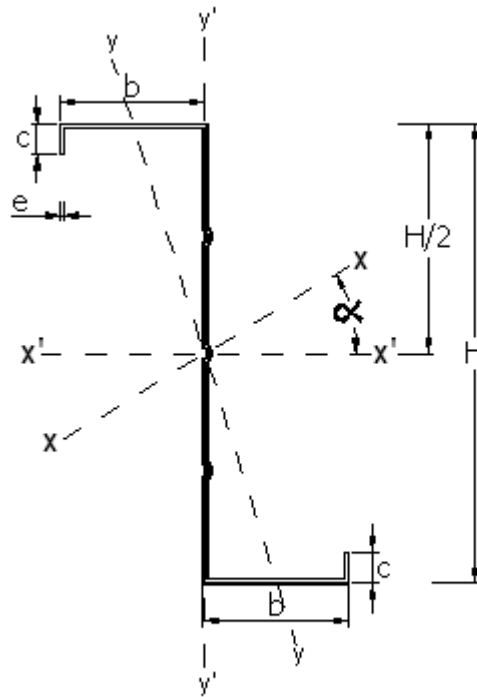


FIGURA 1.3.- Nomenclatura de parámetros de correa Z

Tipo de Acero : Acero Estructural, ASTM A 653 SS
grado 50 , clase 3

Punto de Fluencia : 3.525 Kg/cm² (50 Ksi)

Resistencia a la Rotura : 4.935 Kg/cm² (70 Ksi)

Modulo de Elasticidad : 2.1 x 10⁶ Kg/cm²

Galvanizado : G 90 (0.90 onzas/pie²)

Presentación : 6 metros de longitud (standard).
longitudes mayores bajo pedido especial.

En la tabla siguiente, se presentan parámetros individuales.

PROPIEDADES MECANICAS - PERFILES Z PARA CORREAS DE TECHO											
DIMENSIONES			Espesor BMT e(mm)	Area	Peso	Eje X-X			Eje Y - Y		
H	b	c		A	P	I _x	S _x	R _x	I _y	S _y	R _y
mm	mm	mm	cm ²	Kgr/ m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
64	32	10	1.00	1.41	1.11	9.35	2.92	2.57	3.69	1.17	1.62
			1.20	1.68	1.32	11.02	3.44	2.56	4.30	1.37	1.60
			1.40	1.94	1.52	12.63	3.95	2.55	4.88	1.56	1.58
75	38	10	1.00	1.64	1.29	15.14	4.04	3.04	5.80	1.55	1.88
			1.20	1.96	1.54	17.89	4.77	3.02	6.79	1.82	1.86
			1.40	2.27	1.78	20.55	5.48	3.01	7.73	2.07	1.85
100	38	10	1.00	1.87	1.47	28.81	5.76	3.92	5.63	1.50	1.74
			1.20	2.23	1.75	34.20	6.84	3.91	6.62	1.77	1.72
			1.40	2.59	2.03	39.48	7.90	3.90	7.56	2.03	1.71
125	38	10	1.00	2.12	1.66	48.65	7.78	4.79	5.63	1.50	1.63
			1.20	2.53	1.99	57.83	9.25	4.78	6.62	1.77	1.62
			1.40	2.94	2.31	66.83	10.69	4.77	7.56	2.03	1.60
125	50	10	1.00	2.36	1.85	57.88	9.26	4.95	11.80	2.38	2.24
			1.20	2.82	2.21	68.87	11.02	4.94	13.93	2.82	2.22
			1.40	3.28	2.57	79.66	12.75	4.93	15.98	3.24	2.21
150	38	10	1.00	2.37	1.86	75.12	10.02	5.63	5.63	1.50	1.54
			1.20	2.83	2.22	89.38	11.92	5.62	6.62	1.77	1.53
			1.40	3.29	2.58	103.38	13.78	5.6	7.56	2.03	1.52
150	50	10	1.00	2.61	2.05	88.44	11.79	5.82	11.8	2.38	2.13
			1.20	3.12	2.45	105.32	14.04	5.81	13.93	2.82	2.11
			1.40	3.63	2.85	121.93	16.26	5.80	15.98	3.24	2.10
175	32	10	1.00	2.50	1.96	99.92	11.42	6.32	3.57	1.13	1.20
			1.20	3.00	2.35	119.51	13.66	6.32	4.18	1.33	1.18
			1.40	3.48	2.73	138.26	15.80	6.30	4.76	1.52	1.17
175	38	10	1.00	2.63	2.06	109.51	12.52	6.46	5.63	1.50	1.47
			1.20	3.14	2.44	130.38	14.90	6.44	6.62	1.77	1.45
			1.40	3.65	2.86	150.92	17.25	6.43	7.56	2.03	1.44
175	50	10	1.00	2.87	2.25	127.67	14.59	6.67	11.80	2.39	2.03
			1.20	3.43	2.69	152.13	17.39	6.66	13.93	2.82	2.02
			1.40	3.99	3.13	176.23	20.14	6.65	15.98	3.24	2.00
200	38	10	1.00	2.87	2.25	151.07	15.11	7.25	5.63	1.50	1.40
			1.20	3.43	2.69	179.96	18.00	7.24	6.62	1.77	1.39
			1.40	3.99	3.13	208.43	20.84	7.23	7.56	2.03	1.38
200	50	10	1.00	3.11	2.44	174.83	17.48	7.50	11.80	2.39	1.95
			1.20	3.72	2.92	208.42	20.84	7.48	13.93	2.82	1.94
			1.40	4.33	3.39	241.56	24.16	7.47	15.98	3.24	1.92

Tabla 1.2.- Especificaciones Técnicas de Correas Z (1)

CARACTERÍSTICA Y GENERALIDADES DEL RECUBRIMIENTO GALVANICO.

Las características que sirven de criterio para determinar la calidad de los recubrimientos son el aspecto superficial, el espesor y la adherencia. El espesor es la característica más relevante, ya que la duración de la protección es directamente proporcional a su espesor. Los espesores promedio mínimos exigibles para la mayor parte de normas se plantean en la tabla 1.3

Espesor de la Pieza	Valor local (mín.)		Valor medio (mín.)	
	gr/m ²	µm	gr/m ²	µm
Acero 6 mm	505	70	610	85
Acero 3mm < e < 6mm	395	55	505	70
Acero 1.5mm < e < 3mm	325	45	395	55
Acero e < 1.5 mm	250	35	325	45
Piezas moldeadas 6mm	505	70	575	80
Piezas moldeadas < 6mm	430	60	505	70

Tabla 1.3.- Espesores mínimos de recubrimiento

Dentro de los procesos de galvanizado se contempla los que son por inmersión en caliente y los galvanizados en frío.

Galvanizado por inmersión en frío.- el galvanizado en frío es un recubrimiento de zinc sobre acero el cual se lo aplica mediante pistola, brocha o rodillo. Para que este tipo de producto tenga una resistencia a la corrosión equivalente al galvanizado en caliente se requiere que la película seca contenga un mínimo de 95% de zinc. Además es necesario que la capa sea conductora eléctrica, solamente con estas dos características capaces de proteger al acero galvánicamente.

Por lo anterior este tipo de productos deben cumplir con varias normas de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM). Las pinturas ricas en zinc no cumplen con estas normas y no pueden ser consideradas para protección galvánica.

Dentro de sus aplicaciones se tienen:

- Estructuras de acero: aplicando el galvanizado en frío en un espesor mínimo de 75 μm , se logra la misma protección que el galvanizado en caliente.
- Reparación de galvanizado dañado: se utiliza para reparar galvanizado en caliente dañado por soldadura, corte, quemadura, cizallamiento, etc.
- Regeneración de superficies galvanizadas: para regenerar superficies galvanizadas en caliente erosionadas por el tiempo.
- Protección de soldaduras: la soldadura son susceptibles de corroerse dado que el área soldada tiene un potencial eléctrico

distinto al del metal base. Al aplicar el galvanizado en frío sobre las costuras de soldadura y a sus alrededores se inhibe la corrosión. Se requiere que el acero este libre de óxidos y aceites. Como recurso importante se acota que el galvanizado en frío permite el uso de pinturas protectoras o decorativas sin necesidad de pretratamientos.

Galvanizado por inmersión en caliente.- el tratamiento en caliente de la galvanización por inmersión es un proceso en el cual el acero es cubierto con una capa de zinc, siendo sumergido en baño de zinc fundido, siendo esta la protección a la corrosión más eficaz para el acero disponible en la actualidad. La capa de zinc que es aplicada forma un enlace metalúrgico con el acero; parte que en definitiva se convierte en un elemento más de la superficie. Otra propiedad de este proceso es que posee la capacidad única de protegerse a sí mismo; si rasguños superficiales ocurren durante el transporte el zinc de los alrededores protegerá el punto dañado por la acción electroquímica natural, evitando así que se forme óxido y gane espacio.

La película de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras:

- Protección de barrera

- Protección galvánica (catódica)

La protección galvánica permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas, por lo que se explica que en presencia de humedad el zinc, actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.

Como se mencionó anteriormente la vida protectora de un galvanizado está determinada primordialmente por el espesor del recubrimiento y la severidad de las condiciones de exposición.

Estas condiciones incluyen ambientes atmosféricos clasificados como: altamente industriales, moderadamente industriales (urbanos), suburbanos, rurales y marinos.

Se detallan los diferentes ambientes atmosféricos, los mismos que se sustentan adicionalmente en la figura 1.4.

- Ambiente industrial y tropical marino.- en esta clasificación de exposición atmosférica están comprendidas las emisiones industriales generales, tales como gases sulfurosos, neblinas y vapores corrosivos que se liberan inadvertidamente de las plantas químicas, refinerías y plantas de procesamiento similares. Las condiciones de corrosión más agresivas puede esperarse que ocurran en áreas de actividad industrial intensa,

donde el recubrimiento frecuentemente está expuesto a la lluvia, a una condensación o a la nieve.

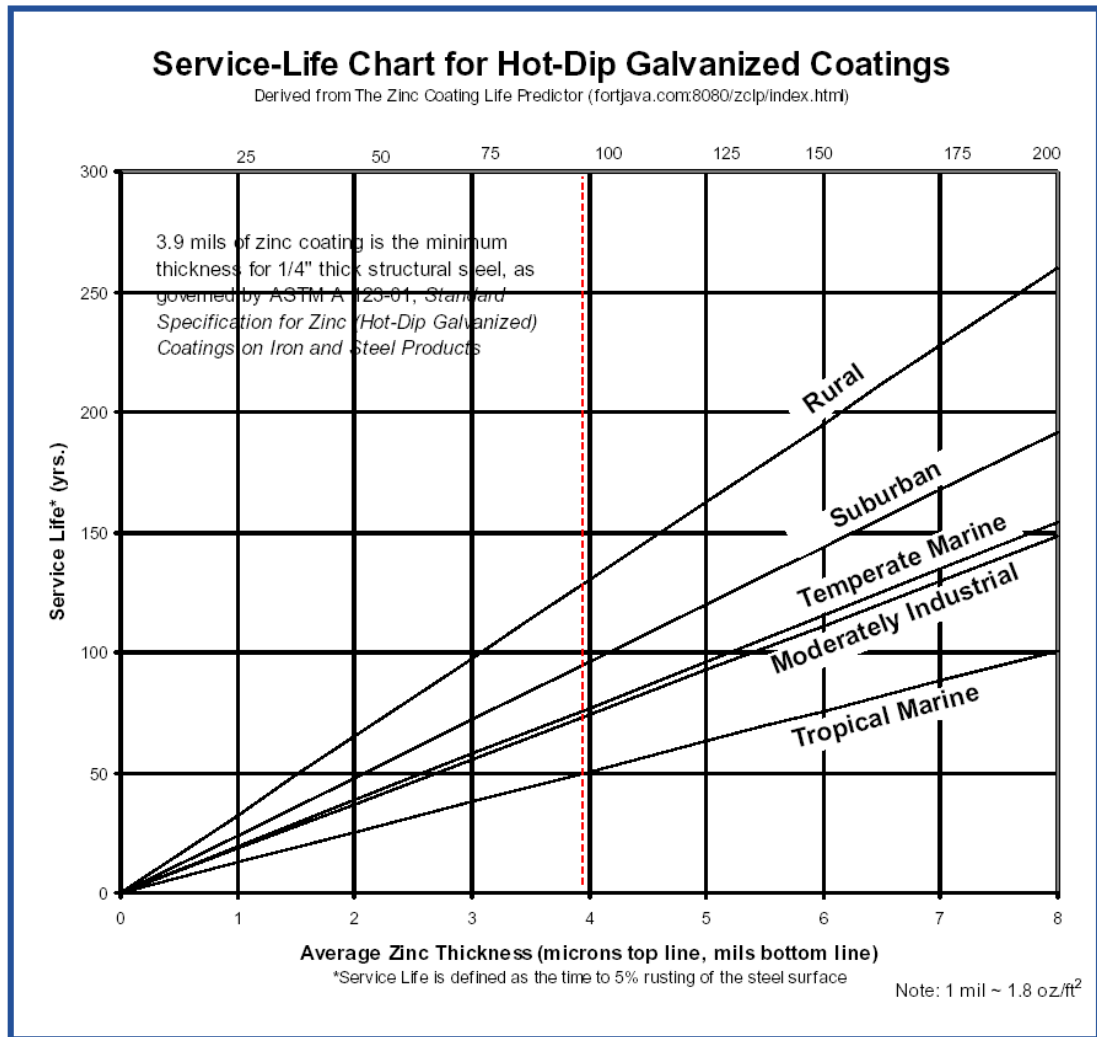


FIGURA 1.4: Tiempo de vida útil de espesores promedios de galvanizado en diferentes medios.

- Ambiente rural y suburbano.- a diferencia de los ambientes industriales, los entornos de las atmósferas rurales y suburbanas son relativamente benignos, particularmente si las exposiciones se encuentran lejos de las costas y de las actividades industriales y urbanas. En las atmósferas rurales o suburbanas la corrosión es relativamente lenta.
- Ambiente marino.- la protección de galvanizado en los medios marinos está influenciada por la proximidad del litoral, topografía costera y vientos que prevalezcan. Bajo algunas condiciones la velocidad de corrosión podría acelerarse por la arena que sopla el viento que puede extraer la película de zinc de la superficie expuesta.

Luego de lo expuesto a través del marco teórico en lo referente a los recubrimientos, los perfiles Z y G, se encuentran normalizados bajo los códigos de la ASTM A 653- A 653 M -99 (2).

Dentro de la referida norma observamos las siguientes características de la designación de recubrimiento G90 (ver anexo 1).

G90:
0.9 onz/ft²
273.61 gr/m²

1.4 Normas a utilizar

Al realizar estudios mediante análisis estructural, tanto a cerchas como a columnas y que exista una correcta evaluación de los elementos estructurales, es necesario que los diseños estén bajo la influencia de códigos o normas que permitan la confiabilidad del proyecto, optimizando espesores y elevando la seguridad a nivel ingenieril. Normas a nivel estructural y constructivo generan que el resultado final sea de entera satisfacción; de ahí, que el diseño estará regido en lo que fuere necesario por los códigos del Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC), además de contar por el soporte de los códigos implantados por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

Normas auxiliares serán usadas también en el desarrollo de esta tesis, normas de entidades tales como el Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI) y el Concejo para Pintar Estructuras de Acero (SSPC) en el caso del galpón diseñado con perfiles convencionales.

Se hace mención que se considerará parámetros técnicos dados por el cuerpo de ingenieros de la empresa PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A. para el análisis de cargas.

Capítulo 2

2. DISEÑO DE GALPÓN

2.1 Cargas a considerar

Las cargas a considerarse en el Ecuador, por ser este un país situado geográficamente en la zona tórrida, obvian cargas que generalmente se toman en cuenta en los diseños norteamericanos especificadas por ASCE. Debido a esto el diseño contemplará las cargas actuantes bajo las condiciones requeridas con el fin de evitar el sobredimensionamiento estructural para disminuir costos.

A partir de las cargas definidas por ASCE (3) se seleccionarán las actuantes en el diseño:

- D: Carga muerta por el peso de los elementos estructurales y características permanentes de la estructura.
- L: Carga viva debido a la ocupación y movimiento de equipos.
- L_r : Carga debido al peso de techo
- W: Carga de viento
- S: Carga de nieve

E: Carga por terremoto

R: Carga debida a lluvia o hielo

Las cargas bajo ciertas condiciones podemos asumirlas de la siguiente manera:

- Carga muerta (D), la cual representa todo el peso de la estructura y sus componentes aplicadas en los nodos de esta.
- La carga viva (L) por movilidad de equipo se asume de igual forma cero, dado que no existen equipos a instalarse sobre la cubierta.
- Carga debida al peso del techo (L_r), la cual será sumada a la carga muerta de la estructura respectiva.
- La carga del viento (W) considerada como carga viva actuante en función del ángulo de cubierta. Además se considerará cargas de viento laterales aplicadas nodalmente en las columnas de la cercha.
- Carga por nieve (S) se asumirá igual a cero por la situación geográfica en la que se encuentra el Ecuador.
- Carga por terremoto (E) se puede asumir igual a cero, debido a que el Ecuador no se encuentra en una zona sísmica relevante, aunque existan movimientos telúricos esporádicos que para efectos de diseño no se contemplan.

- Carga por hielo (R), la cual considera los efectos de granizo en sectores de la serranía ecuatoriana.

Por lo tanto las cargas actuantes a considerar serán:

D: Carga muerta por el peso de los elementos estructurales y características permanentes de la estructura.

L_r : Carga debido al peso de techo

W: Carga de viento

R: Carga debida a lluvia o hielo

El siguiente paso será la determinación de cada una de las cargas antes mencionadas, para cumplir con la norma AISC dado el método ASD (Diseño por Esfuerzos Admisibles), que contempla la suma vectorial de carga muerta, carga por viento, carga pro techo y de hielo (3).

DETERMINACIÓN DE CARGA MUERTA (D).

La determinación de carga muerta se contemplará en el sub-capítulo 2.2, en el cual se refiere al estudio de la cercha con canales y ángulos de acero convencional ASTM A-36, cuyo peso inicial parte de una cercha modelo (no especificada), peso que podrá ser retroalimentado mediante procesos iterativos, con el fin de llegar a perfiles óptimos con pesos reales.

En el sub-capítulo 2.3 se determinará la carga muerta, para el caso de perfiles galvanizados con acero ASTM A-653 SS grado 50 clase

3, en el cual se partirá de igual forma de una cercha modelo (no especificada) y su peso podrá ser retroalimentado a través de un proceso iterativo.

Cabe señalar que los pesos planteados de las cerchas modelos para los dos casos se asumen, puesto que se debe cuantificar alguna carga muerta inicial y de esta forma generar un análisis preliminar; el proceso iterativo corresponde por tanto al ajuste de los perfiles dados, con el fin de seleccionarlos para que soporten las fuerzas axiales generadas a través de dicho análisis.

Se señala adicionalmente que los pesos planteados por los modelos expuestos parten de la convergencia dada ya por estos procesos iterativos, los cuales se los plantea con el fin de incurrir en el análisis de fuerzas y esfuerzos finales (ver figura 2.1 a).

DETERMINACIÓN DE CARGA POR PESO DE TECHO (L_r).

El techo a usar será Master 1000, producto ampliamente difundido en el mercado en el área industrial, el cual es distribuido y comercializado por PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A. El techo Master 1000, posee características de resistencia y hermeticidad cuya forma es trapezoidal con acero galvalume.

Del catálogo de paneles de acero para techo y paredes se obtiene la siguiente tabla de selección (ver anexo 2):

FIGURA 2.1

Espesor de panel	0.35 mm	0.4 mm	0.45 mm	0.5 mm	0.6 mm
Separación De correas (m)	1.5	1.8	2.2	2.5	2.7
Peso Kg/m²	3.4	3.9	4.4	4.9	5.85
Carga Distribuida Kg/m²	142.08	119.84	-	-	-

Tabla 2.1.- Tabla de carga para paneles Master 1000

Para determinar la carga puntual que recibirá cada nodo en la parte superior se realizará lo siguiente:

- 1) Se calcula el área total de vano, correspondiente al área de influencia, la cual estará apoyada centralmente en cada estructura.

$$A_{\text{techo}} = L_{\text{techo}} \times L_{\text{vano}} = 24.88 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 149.3 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{techo} : Área total de techo entre estructuras

L_{techo} : Longitud que incluye un volado lateral hacia ambos lados.

L_{vano} : Longitud entre estructuras o cerchas

- 2) Se procede a encontrar el peso total del techo, multiplicando el área hallada (A_{techo}) por el peso por unidad de área del techo dado en la tabla 2.1.

La selección del techo se ha hecho considerando una distancia entre correas de 1.5 m, valor que es obtenido como parámetro de entrada para la selección de las respectivas correas.

$$P_{\text{techo}} = A_{\text{techo}} \times W/m^2 = 149.3 \text{ m}^2 \times 3.4 \text{ Kg/m}^2 = 507.6 \text{ Kg}$$

Donde:

P_{techo} : Peso total de techo entre estructuras

A_{techo} : Área total de techo obtenido en el paso 1

W/m^2 : Peso por unidad de área obtenido de la tabla 2.1

- 3) Se determina el peso por nodo superior, obtenido a partir de dividir el peso de techo (P_{techo}) para el número de nodos dados en la parte superior de la estructura.

$$P_{\text{t/nodo}} = P_{\text{techo}} / \# \text{ nodos} = 507.6 \text{ Kg} / 27 \text{ nodos} = 18.8 \text{ kg.} \downarrow$$

DETERMINACIÓN DE CARGA DE VIENTO EN LA CUBIERTA (W1).

Para el análisis de la cubierta, el estudio se lo realizará tanto en situación de barlovento (zona donde el viento incide directamente)

como en situación de sotavento (zona contraria afectada por el viento pero sin entrar en contacto directo con este).

Para determinar la carga por unidad de área que recibirá cada nodo en la parte superior se realizará lo siguiente:

- 1) Se determina la presión de velocidad del viento q en Kg/m^2 dada por la fórmula (4):

$$q = V^2/16 = (11.623 \text{ m/seg})^2 /16 = 8.443 \text{ Kg /m}^2$$

Donde V es la velocidad del viento dada en m/seg y especificada en el país por la Dirección de Aviación Civil.

- 2) De la figura 1.1 se puede observar que el ángulo de inclinación de la cubierta es de 11.31° , lo cual permitirá evaluar las condiciones en barlovento y sotavento.

Para el lado de barlovento en pendientes menores de 20° la carga de presión del viento (p) esta dada por la expresión (4):

$$p_{\text{barlo}} = 0.7 \times q = 0.7 \times 8.443 \text{ Kg/m}^2 = 5.91 \text{ Kg/m}^2$$

Donde q es el valor de presión de velocidad del viento hallado en paso 1.

- 3) Se calcula la carga total en barlovento multiplicando el área de techo en barlovento por la presión de viento respectiva:

$$P_{\text{viento}} = A_{\text{barlo}} \times p_{\text{barlo}} = 74.64 \text{ m}^2 \times 5.91 \text{ Kg/m}^2 = 441.123 \text{ Kg}$$

Donde:

P_{viento} : fuerza total ejercida por el viento en el lado de barlovento.

A_{barlo} = área de barlovento, que es igual al área de techo A_{techo} dividida para dos.

p_{barlo} = presión de viento en barlovento hallada en 2.

- 4) Se calcula la fuerza de viento nodal en el lado de barlovento, dividiendo la fuerza total (P_{viento}) para el número de nodos que se encuentran en el correspondiente lado.

$$P_{\text{v/nodal}} = P_{\text{viento}} / \# \text{ nodos} = 441.123 \text{ Kg} / 14 \text{ nodos} \\ = 31.51 \text{ Kg} (\searrow -78,69^\circ, \perp \text{ al techo})$$

- 5) Para el lado de sotavento se recomienda que se use una presión de succión expresada por (4):

$$p_{\text{sota}} = 0.6 \times q = 0.6 \times 8.443 \text{ Kg/m}^2 = 5.066 \text{ Kg/m}^2$$

Donde q es el valor de presión de velocidad del viento hallado en paso 1.

- 6) Se calcula la carga total en sotavento multiplicando el área de techo en sotavento por la presión de viento hallada en paso 5:

$$P_{\text{viento}} = A_{\text{sota}} \times p_{\text{sota}} = 74.64 \text{ m}^2 \times 5.066 \text{ Kg/m}^2 = 378.13 \text{ Kg}$$

Donde:

P_{viento} : fuerza total ejercida por el viento en el lado de sotavento.

A_{sota} = área de sotavento, que es igual al área de techo A_{techo} dividida para dos.

p_{sota} = presión de viento en sotavento hallada en 5.

- 7) Se calcula la fuerza de viento nodal en el lado de sotavento, dividiendo la fuerza total (P_{viento}) para el número de nodos que se encuentran en el correspondiente lado.

$$P_{\text{v/nodal}} = P_{\text{viento}} / \# \text{ nodos} = 378.13 \text{ Kg} / 14 \text{ nodos} \\ = 27.01 \text{ Kg} \left(\swarrow 191.31^\circ, \perp \text{ al techo} \right)$$

DETERMINACIÓN DE CARGA DE VIENTO EN PAREDES LATERALES DE GALPÓN (W2).

Para el análisis de las cargas de viento aplicadas lateralmente en las paredes del galpón, se realizara el siguiente procedimiento.

- 1) Se calculará la presión de trabajo ejercida por el viento y definida por la expresión (3):

$$P_w = q_s C_e C_q = 73.0 \text{ Kg/ m}^2 * 0.8 * 1.4 \\ = 81.72 \text{ Kg/ m}^2$$

Donde:

q_s : es la presión de estancamiento del viento a la altura estándar (Altura ≤ 9 m), la cual para Guayaquil de 73.0 Kg/ m^2 (ref. Dirección de Aviación Civil)

C_e : es el coeficiente del factor por ráfagas, el cual en este caso toma el valor de 0.8 y se encuentra en la tabla 2.2

C_q : factor de forma expresado en la tabla 2.3. Valor dado por 1.4

Altura sobre el piso, pies	Coeficiente C_e	
	Exposición C	Exposición B
0-20	1.2	0.7
20-40	1.3	0.8
40-60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1

Exposición C: condiciones severas en EEUU.

Exposición B: condiciones medias en EEUU.

Tabla 2.2 : Factor de Altura de viga

Coeficiente de presión C_q	Factor de forma
Torres cuadradas o rectangulares	1.4
Torres hexagonales u octagonales	1.1
Torres redondas o elípticas	0.8

Tabla 2.3 : Factor de forma de viga

- 2) Se calcula el área lateral de pared que soportará la fuerza del viento entre cerchas, correspondiente al área de influencia. (ver figura 2.1 b)

$$A_{\text{lateral}} = H_{\text{columna}} \times L_{\text{vano}} = 7 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 42 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{lateral} : Área total lateral entre estructuras

H_{columna} : Altura total de las columnas del galpón.

L_{vano} : Longitud entre estructuras o cerchas

- 3) Se determina la fuerza total aplicada lateralmente, multiplicando el área hallada (A_{lateral}) por la presión de trabajo del viento P_w :

$$P_{\text{lateral}} = A_{\text{lateral}} \times P_w = 42 \text{ m}^2 \times 81.72 \text{ Kg/m}^2 = 3432 \text{ Kg}$$

- 4) Se determina la fuerza por nodo, obtenida a partir de dividir la fuerza total lateral (P_{lateral}) para el respectivo número de nodos en la estructura.

$$P_{\text{t/nodo}} = P_{\text{lateral}} / \# \text{ nodos} = 3432 \text{ Kg} / 6 \text{ nodos} = 572 \text{ kg.} \rightarrow$$

DETERMINACIÓN DE CARGA DE LLUVIA O HIELO (R).

La determinación de la carga de hielo se basa en la máxima carga sobre el suelo con un porcentaje del 2% de probabilidad de ser sobrepasado en cualquier año, en un período de recurrencia de 50 años (3). A partir de este criterio se toma como espesor de la capa

de granizo un promedio de 5 cm. Encontrando esta carga se realizará el siguiente procedimiento:

- 1) Determinación del volumen de hielo, que se obtiene multiplicando el área total de techo entre estructuras por el espesor de la capa de hielo:

$$V_{\text{hielo}} = A_{\text{techo}} \times e_{\text{hielo}} = 149.3 \text{ m}^2 \times 0.05 \text{ m} = 7.46 \text{ m}^3$$

Donde:

A_{techo} : Área total de techo entre estructuras obtenido anteriormente.

e_{hielo} : espesor del hielo igual a 5 cm

- 2) Se encuentra el peso del hielo en kilogramos, multiplicando el volumen hallado en el paso 1 por la densidad del agua:

$$m_{\text{hielo}} = \rho_{\text{hielo}} \times V_{\text{hielo}} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 7.46 \text{ m}^3 = 7460 \text{ Kg}$$

- 3) Se calcula la carga nodal dividiendo el peso de la capa de hielo para el número de nodos superiores en la estructura:

$$\begin{aligned} P_{\text{hielo/nodo}} &= m_{\text{hielo}} / \# \text{ de nodos} = 7460 \text{ Kg} / 27 \text{ nodos} \\ &= 276.3 \text{ Kg} \downarrow \end{aligned}$$

- 4) Por último se determina la carga por unidad de área dividiendo el peso total del hielo para el área de techo:

$$Q_{\text{hielo}} = m_{\text{hielo}} / A_{\text{techo}} = 7460 \text{ Kg} / 149.3 \text{ m}^2 = 49.9 \text{ Kg/ m}^2$$

DETERMINACIÓN DE CARGA VIVA FINAL DADA LA SUMATORIA VECTORIAL DE VIENTO, TECHO Y HIELO.

Una vez halladas las cargas tanto de forma nodal como fuerzas dadas en una unidad de área, se procederá a sumarlas vectorialmente tanto para barlovento como para sotavento.

$$\begin{aligned} P_{tB} &= \{P_{hielo} \times \text{Cos } 11.31^\circ + P_{techo} \times \text{Cos } 11.31^\circ - P_{barlo}\} \times \{1/m^2\} \\ &= \{49.9\text{Cos } 11.31^\circ + 3.4\text{Cos } 11.31^\circ - 5.91\} \times \{1/m^2\} \\ &= \{46.35 \text{ Kg/m}^2\} \searrow -78,69^\circ, \perp \text{ al techo} \end{aligned}$$

Para sotavento la suma vectorial corresponde:

$$\begin{aligned} P_{ts} &= \{P_{hielo} \times \text{Cos } 11.31^\circ + P_{techo} \times \text{Cos } 11.31^\circ - P_{sota}\} \times \{1/m^2\} \\ &= \{49.9\text{Cos } 11.31^\circ + 3.4\text{Cos } 11.31^\circ - 5.06\} \times \{1/m^2\} \\ &= \{47.21 \text{ Kg/m}^2\} \swarrow 191.31^\circ, \perp \text{ al techo} \end{aligned}$$

Por recomendaciones hechas para cubrir diferentes eventualidades como efectos sísmicos, cuerpo de ingenieros de diferentes compañías distribuidoras de perfiles incluyendo PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A, sugieren que en el caso del Ecuador se tome una distribución de carga viva de 60 Kg/m². Esta carga distribuida la misma que al ser multiplicada por el área de techo y dividida para el número de nodos en la parte superior de la estructura se obtiene

una fuerza nodal de 332 Kg, la cual podrá ser descompuesta dado el ángulo de la cubierta igual a 11.31°.

$$\begin{aligned} P_{\text{nodal}} &= (60 \text{ Kg/m}^2 \times A_{\text{techo}}) / 27 \text{ nodos} \\ &= 332 \text{ Kg} \perp\!\!\!\perp \text{ al techo} \\ &= P_x 65.11 \text{ Kg} \text{ y } P_y 325.55 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Al observar la sumatoria de las diferentes cargas vivas en el techo se toma como carga de diseño crítica la sugerida anteriormente, descartando P_{IB} y P_{TS} , siendo esta carga siempre perpendicular al techo (ver figura 2.1 c).

2.2 Diseño de galpón con canales y correas convencionales de acero comercial.

La carga muerta por unidad de área se la escoge inicialmente con 14 Kg/m² (área de piso), referencia tomada del libro de Diseño de Estructuras Metálicas por John E. Lothers (5), carga distribuida que al aplicársela nodalmente da un peso aproximado de 31.1 Kg

$$\begin{aligned} P_u &= A_{\text{vano}} \times W / \text{m}^2 \\ &= (6\text{m} \times 20\text{m}) \times 14 \text{ Kg/m}^2 = 1680 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Esta carga por estructura se la divide para el número de nodos superior e inferior de la cubierta solamente, teniendo un resultado igual a:

$$P_{\text{nodal}} = P_u / \# \text{ nodos} = 1680 \text{ Kg} / 54 \text{ nodos} = 31.1 \text{ Kg}$$

Donde el número de nodos puede observarse en la figura 1.1

Sin embargo luego de proceder a realizar varias iteraciones del diseño propiamente, se escoge un peso nodal de 17.56 Kg.

$$P_{\text{nodal}} = 17.56 \text{ Kg} \downarrow$$

2.2.1 Análisis estructural de cercha y selección

Planteando las fuerzas por nodo generado a través de los análisis previamente realizados se las establece en la tabla 2.4 Una vez realizado el análisis estructural a través de un programa de elementos finitos, se obtiene las fuerzas axiales de cada uno de los elementos los cuales estarán sometidos a tensión o a compresión.

En la tabla 2.5 y en la figura 2.2 (para la identificación de elementos), se presentan estos valores los mismos que serán analizados para la selección del perfil indicado. Dentro de este análisis para selección se consideran los cálculos respectivos para evitar pandeo en estos elementos detallado en el sub-capítulo 2.2.2

Descripción	Fuerza Y (kg)	Dirección	Fuerza X (kg)	Dirección
Carga Viva	325.55	↓	65.11	→ ←
Peso muerto	17.56	↓	--	--
Peso de techo	18.8	↓	--	--
Peso de correa	22.16	↓	--	--
∑ Cargas superiores	384.07	↓	65.11	→ ←
∑ Cargas inferiores	17.56	↓	--	--
Cargas laterales De estructura	--	--	572	→

Tabla 2.4.- Cargas generales para análisis de estructura convencional

FIGURA 2.2

2.2.2 Selección de canales y correas

Para la selección de canales y ángulos (elementos que componen la estructura) partimos de la selección alternativa de alguna de ellas, planteando la fuerza máxima que soporta, el perfil dado y se lo compara con las fuerzas dadas en la tabla 2.5, de ahí se seleccionará el perfil.

En el caso específico de las canales se analizará el elemento con la fuerza más crítica y se generalizará este perfil para todo el contorno de la estructura, luego de ello se realizará un análisis por pandeo en uno de sus elementos considerando la longitud y fuerza de compresión crítica.

Fuerzas en las barras de la estructura conveccional (Kg)							
Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)
1	-114.06	43	-13615.87	85	194.39	127	-2763.91
2	64.47	44	-13770.99	86	-928.37	128	2598.22
3	1355.01	45	-11783.29	87	141.24	129	-3126.6
4	2958.69	46	-8453.18	88	562.11	130	2629.51
5	3329.42	47	-5360.76	89	-3108.81	131	-3644.23
6	3231.53	48	-2639.6	90	2242.84	132	-826.53
7	3191.24	49	-450.29	91	-2543.04	133	-97.73
8	2300.35	50	1352.81	92	2009.44	134	73.78
9	-629.76	51	2727.5	93	-2178.7	135	-773.03
10	-3253.62	52	3672.46	94	1637.3	136	-158.65
11	-5442.14	53	4147.36	95	-1847.42	137	-8382.72
12	-7221.08	54	3816.83	96	1248.05	138	-1774.35
13	-8541.92	55	3198.44	97	-1431.03	139	1062.16
14	-9442.62	56	3236.3	98	882.4	140	-2116.54
15	-9913.06	57	4470.18	99	-1065.91	141	2501.52
16	-9957.81	58	5703.18	100	514.13	142	-3271.39
17	-9407.66	59	5908.85	101	-693.26	143	4022.44
18	-8040.26	60	5638.64	102	140.96	144	-5847.72
19	-7755.7	61	4938.43	103	-323.72	145	5791.6
20	-8342.23	62	3810.22	104	-230.3		
21	-8181	63	2280.96	105	138.66		
22	-7462.24	64	248.26	106	-642.29		
23	-6317.23	65	-2169.87	107	1222.26		
24	-4742.11	66	-4932.41	108	-1317.81		
25	-2747.43	67	-7622.17	109	1047.78		
26	-296.21	68	-7671.32	110	613.14		
27	2568.65	69	-8270.1	111	493.62		
28	5874.34	70	-8747.41	112	-696.65		
29	9136.44	71	-7193.63	113	430.34		
30	8395.66	72	-5494.42	114	-32.03		
31	7549.12	73	-4107.48	115	-461.83		
32	7130.28	74	0	116	350.79		
33	6782.46	75	-941.6	117	-910.34		
34	3564.26	76	-1218.81	118	723.13		
35	-2206.09	77	374.01	119	-1279.96		
36	-12694.55	78	-1362.75	120	1096.03		
37	0	79	934	121	-1652.61		
38	1393.21	80	-1521.88	122	1465.23		
39	-7035.96	81	778.67	123	-2014.08		
40	-11339.9	82	-1635.23	124	1820.95		
41	-13479.25	83	-4310.5	125	-2443.11		
42	-13420.77	84	-990.69	126	2221.53		

Ver anexo 4

Tabla 2.5.- Fuerzas axiales de elementos en estructura convencional

En el caso de los ángulos que componen las diagonales, se tomarán dos tipos de perfiles, los que se presentan en la parte central de la estructura y los que forman las diagonales en las columnas; esto dado por criterio de construcción, puesto que si se seleccionara un tipo de perfil por cada elemento los costos en maquinado y desperdicio aumentarían.

A continuación se presenta la selección de los elementos empezando por las correas. (ver planos en anexo).

SELECCIÓN DE CORREAS DE ACERO ASTM A-36 QUE SOPORTARÁN EL TECHO EN GALPÓN CONVENCIONAL.

A partir del procedimiento de selección dado por las casas comerciales que venden este tipo de perfiles se tiene:

- 1) Se detallan parámetros de entrada

$$L_c = 150 \text{ cm} \quad \text{Distancia entre correas}$$

$$Q = 60 \text{ Kg/m}^2 \quad \text{Carga viva sugerida, contempla incluso peso de techo}$$

- 2) Se calcula la longitud neta de las correas restándole a L_c 20 cm, valor sugerido por empresas comercializadoras (ver anexo 3)

$$L_n = L_c - 20 \text{ cm} = 150 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 130 \text{ cm}.$$

- 3) Se calcula la carga admisible P de cada correa en Kg/m

$$P = Q \times L_n = 60 \text{ Kg/m}^2 \times 1.3 \text{ m} = 78 \text{ Kg/m}$$

4) Seleccionando de la tabla dada en anexo 3, donde ingresando mediante el parámetro $L = 6\text{m}$ (longitud entre estructuras) se obtiene el perfil de una correa con características de carga admisible máxima de 81 Kg/m . y corresponde a un perfil **G 125 x 50 x 15 x 3**, con un peso de 5.54 Kg/m , con un total de 18 correas que soportarán todo el techo.

SELECCIÓN DE CANALES DE ACERO ASTM A-36 QUE GENERAN EL CONTORNO EN GALPÓN CONVENCIONAL.

Dadas las fuerzas que se generan entre la barras 1 y 74, las cuales se detallan en la figura 2.2 y representan el contorno de la estructura

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 15	-9913.06	70.00
Barra # 29	9136.44	111.27
Barra # 40	-11339.9	165.00
Barra # 41	-13479.25	101.27
Barra # 44	-13770.99	55.42

Tabla 2.6.- Cargas críticas para tensión y pandeo

Definiendo ahora un conjunto de perfiles con los cuales se puede partir se tiene:

Perfil C	Altura (mm)	Base (mm)	Espesor (mm)	Area (cm ²)	Inercia (cm ⁴)
125x50x2	125	50	2	4.37	103.00
125x50x3	125	50	3	6.45	149.00
150x50x3	150	50	3	7.20	230.00

Ver anexo 3

Tabla 2.7.- Tipos de perfiles analizados

Escogiendo un tipo de perfil C 125x50x3, se realiza el análisis para cada uno de los elementos detallados en la tabla 2.6. Ejecutando un análisis a tensión pura a los elementos que se encuentran a tensión (valores positivos) y un análisis de aplastamiento y pandeo a aquellos que se encuentran a compresión (valores negativos), se detalla el procedimiento siguiente.

Para los elementos a tensión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.7 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión de tabla 2.6 (Kg)

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-36 (2500 Kg/cm²) (3)

2) Se procede a calcular el esfuerzo de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad

$$\eta = S_y/\sigma$$

Para valores superiores a la unidad el esfuerzo de trabajo no alcanza la fluencia por lo tanto el perfil no entrará a la zona plástica y cumple los requerimientos de diseño. Ver tabla 2.8 para observar este resultado.

Para los elementos a compresión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.7 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión tabla 2.6 (Kg)

S_y: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-36 (2500 Kg/cm²) (3)

I: Inercia de perfil dada en tabla 2.7 (cm⁴)

E: Modulo de elasticidad de acero (2.11x10⁶ Kg/cm²)

L: Longitud de elemento a compresión dada en tabla 2.6

2) Se procede a calcular el esfuerzo de aplastamiento de trabajo

$$\sigma = F/A$$

- 3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad por aplastamiento el cual deberá ser mayor que 1 para que el perfil cumpla la fuerza exigida.

$$\eta = S_y/\sigma$$

- 4) Se procede a encontrar el esfuerzo crítico de pandeo:

- Se halla el radio de giro k:

$$k = (I/A)^{1/2}$$

- Se encuentra la relación de esbeltez Sr:

$$S_r = L/k$$

- Se encuentra la relación de esbeltez crítica S_{rD} :

$$S_{rD} = \pi (2 E/ S_y)^{1/2}$$

Donde si:

$S_r > S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = \pi^2 (E/ S_r^2)$$

$S_r < S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = S_y - (1/ E) (S_y \cdot S_r/ 2 \pi)^2$$

Para los casos anteriormente analizados dados por los elementos de la tabla 2.6 Sr siempre es menor que S_{rD} .

5) Se halla el factor de seguridad el cual si es mayor que 1 el perfil cumple con la fuerza exigida sin entrar en pandeo.

$$\eta = \sigma_p / \sigma$$

Para este conjunto de procedimientos en la tabla 2.8 se detalla los factores de seguridad los mismos que cumplen a cabalidad, por lo que el perfil indicado es el **C 125x50x3**. Un perfil con menor característica en área e inercia que este, no cumpliría con los requisitos expuestos

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo
Barra # 15	-9913.06	70.00	1.63	1.62
Barra # 29	9136.44	111.27	1.77	--
Barra # 40	-11339.9	165.00	1.42	1.37
Barra # 41	-13479.25	101.27	1.20	1.18
Barra # 44	-13770.99	55.42	1.17	1.17

Tabla 2.8.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo

SELECCIÓN DE ANGULOS DE ACERO ASTM A-36 QUE FORMAN LAS DIAGONALES.

Dadas las fuerzas que se generan en las diagonales, se tomará dos secciones:

- Las que corresponden a las columnas y comprende las diagonales desde el elemento 75 hasta el elemento 91 y desde el elemento 129 al 145.
- Las que comprenden las diagonales del centro de la cubierta y corresponden a los elementos desde el 92 hasta el 128 (ver figura 2.2).

A continuación se detallan los elementos críticos en estas secciones:

Diagonales en columnas de estructura	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 129	-3126.6	69.46
Barra # 131	-3644.23	69.46
Barra # 137	-8382.72	156.20
Barra # 141	2501.52	123.87
Barra # 142	-3271.39	105.82
Barra # 144	-5847.72	81.53
Barra # 145	5791.6	114.48

Tabla 2.9.- Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de columnas

Diagonales en cubierta de estructura	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 93	-2178.7	69.46
Barra # 108	-1317.81	78.26
Barra # 130	2629.51	69.46

Tabla 2.10.- Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de centro de cubierta

Definiendo ahora un conjunto de perfiles (entre ellos ángulos) con los cuales se puede partir se tiene:

Perfiles doblados	Altura (mm)	Base (mm)	Espesor (mm)	Area (cm ²)	Inercia (cm ⁴)
Angulo 25x25x2	25	25	2	0.93	0.57
Angulo 25x25x3	25	25	3	1.35	0.79
Angulo 40x40x2	40	40	2	1.53	2.44
Angulo 40x40x3	40	40	3	2.25	3.5
Angulo 50x50x3	50	50	3	1.93	4.86
Canal 125x50x3	125	50	3	6.45	149

Ver anexo 3

Tabla 2.11.- Tipos de perfiles analizados

Realizando el análisis para cada uno de los elementos detallados en la tabla 2.9 y 2.10.

Ejecutando un análisis a tensión pura a los elementos que se encuentran a tensión (valores positivos) y un análisis de aplastamiento y pandeo a aquellos que se encuentran a compresión (valores negativos), en los cuales se tomarán las características de los perfiles detallados en la tabla 2.11, se procede de la forma siguiente.

Para los elementos a tensión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.11 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.9 o 2.10

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-36
(2500 Kg/cm²)

2) Se procede a calcular el esfuerzo de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad

$$\eta = S_y/\sigma$$

Para valores superiores a la unidad el esfuerzo de trabajo no alcanza la fluencia por lo tanto el perfil no entrará a la zona plástica y cumple los requerimientos de diseño. Ver tablas 2.12 o 2.13 para observar este resultado.

Para los elementos a compresión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.11 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.9 o 2.10

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-36
(2500 Kg/cm²)

I: Inercia de perfil dada en tabla 2.11 (cm⁴)

E: Modulo de elasticidad de acero (2.11x10⁶ Kg/cm²)

L: Longitud de elemento a compresión dada en
tabla 2.9 o 2.10

2) Se procede a calcular el esfuerzo de aplastamiento de
trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a
encontrar el factor de seguridad por aplastamiento el cual
deberá ser mayor que 1 para que el perfil cumpla la fuerza
exigida.

$$\eta = S_y/\sigma$$

4) Se procede a encontrar el esfuerzo crítico de pandeo:

- Se halla el radio de giro k:

$$k = (I/A)^{1/2}$$

- Se encuentra la relación de esbeltez Sr:

$$S_r = L/k$$

- Se encuentra la relación de esbeltez crítica S_{rD} :

$$S_{rD} = \pi (2 E/ S_y)^{1/2}$$

Donde si:

$S_r > S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = \pi^2 (E/ S_r^2)$$

$S_r < S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = S_y - (1/ E) (S_y \cdot S_r/ 2 \pi)^2$$

Para nuestros casos analizados dados por los elementos de la tabla 2.9 o 2.10 S_r siempre es menor que S_{rD} .

5) Se halla el factor de seguridad el cual si es mayor que 1 el perfil cumple con la fuerza exigida sin entrar en pandeo.

$$\eta = \sigma_p/\sigma$$

Para este conjunto de procedimientos realizado en base a un proceso iterativo para converger a los perfiles óptimos, en las tablas 2.12 y 2.13 se detallan los factores de seguridad, así como los perfiles a los cuales se ha llegado.

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Long. (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo	Selección de perfil
Barra #129	-3126.6	69.46	1.8	1.63	Angulo 40x40x3
Barra #131	-3644.23	69.46	1.54	1.40	Angulo 40x40x3
Barra #137	-8382.72	156.20	1.92	1.86	Canal 125x50x3
Barra #141	2501.52	123.87	2.25	--	Angulo 40x40x3
Barra #142	-3271.39	105.82	1.72	1.35	Angulo 40x40x3
Barra #144	-5847.72	81.53	1.22	1.12	Angulo 50x50x3
Barra #145	5791.6	114.48	1.23	--	Angulo 50x50x3

Ver anexo 3 y 4

Tabla 2.12.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de columnas y perfiles respectivos

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Long. (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo	Selección de perfil
Barra # 93	-2178.7	69.46	1.55	1.17	Angulo 25x25x3
Barra #108	-1317.81	78.26	2.56	1.76	Angulo 25x25x3
Barra #130	2629.51	69.46	1.28	---	Angulo 25x25x3

Ver anexo 3 y 4

Tabla 2.13.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de cubierta y perfiles respectivos

GENERALIDADES A PARTIR DE PERFILES SELECCIONADOS.

Mediante un criterio de construcción y análisis, se planteará simetría al momento de construir la estructura, puesto que siendo verdad que al momento de realizar el análisis las cargas de viento aplicadas en las paredes laterales del galpón en el lado izquierdo, bien estas cargas podrían ser aplicadas en el lado derecho por efectos de direccionamiento en el viento. Esta simetría es expresada a través de los planos adjuntos en anexo.

2.3 Diseño de galpón con correas tipo G y Z galvanizadas

Como se expresó la ocasión anterior, en la corrida inicial para el diseño, se escogerá una carga muerta por unidad de área de 14 Kg/m² (área de piso), referida al libro de Diseño de Estructuras Metálicas por John E. Lothers (5), carga distribuida que al aplicársela nodalmente da un peso aproximado de 31.1 Kg

$$P_u = A_{\text{vano}} \times W/m^2$$
$$= (6m \times 20m) \times 14 \text{ Kg/m}^2 = 1680 \text{ Kg}$$

Esta carga por estructura se la divide para el número de nodos superior e inferior de la cubierta solamente, teniendo un resultado igual a :

$$P_{\text{nodal}} = P_u / \# \text{ nodos} = 1680 \text{ Kg} / 54 \text{ nodos} = 31.1 \text{ Kg}$$

Donde el número de nodos puede observarse en la figura 1.1.

Sin embargo luego de proceder a realizar varias iteraciones del diseño propiamente con los perfiles galvanizados; es decir, con menor peso dada las ventajas de este tipo de perfiles, se escoge un peso nodal de 12.18 Kg.

$$P_{\text{nodal}} = 12.18 \text{ Kg} \downarrow$$

Se señala que este peso incluye una sobrecarga del 5% en el que interviene peso de soldadura, accesorios, pernos y remaches.

2.3.1. Análisis estructural de cercha y selección

Planteando las fuerzas por nodo generado a través de los análisis previamente realizados se las establece en la tabla 2.14

Una vez realizado el análisis estructural a través de un programa de elementos finitos, se obtiene las fuerzas axiales de cada uno de los elementos los cuales estarán sometidos a tensión o a compresión.

En la tabla 2.15 y en la figura 2.2 (para la identificación de elementos), se presentan estos valores los mismos que serán analizados para la selección del perfil indicado. Dentro de este análisis para selección se consideran los cálculos respectivos para evitar pandeo en estos elementos detallado en el subcapítulo 2.3.2

Descripción	Fuerza Y (kg)	Dirección	Fuerza X (kg)	Dirección
Carga Viva	325.55	↓	65.11	→ ←
Peso muerto	12.18	↓	--	--
Peso de techo	18.8	↓	--	--
Peso de correa	11.44	↓	--	--
∑ Cargas superiores	367.97	↓	65.11	→ ←
∑ Cargas inferiores	12.18	↓	--	--
Cargas laterales De estructura	--	--	572	→

Tabla 2.14.- Cargas generales para análisis de estructura galvanizada

2.3.2. Selección de tamaños de correa G y Z galvanizadas

Para la selección de correas G, canales C y correas Z (elementos que componen la estructura) partimos de la selección alternativa de algunas opciones, planteando la fuerza máxima que soporta, el perfil dado y se lo compara con las fuerzas dadas en la tabla 2.15, de ahí se seleccionará el respectivo perfil.

En el caso específico de las correas G se analizará el elemento con la fuerza más crítica y se generalizará este perfil para todo el contorno de la estructura, luego de ello se realizará un análisis por pandeo en uno de sus elementos considerando la longitud y fuerza de compresión crítica.

Fuerzas en las barras de la estructura galvanizada (Kg)							
Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)	Barra	Fuerza (Kg)
1	305.52	43	-13016.57	85	208.45	127	-2624.09
2	84.23	44	-13171.1	86	-904.84	128	2460.65
3	1152.97	45	-11320.9	87	138	129	-2967.95
4	2633.69	46	-8165.9	88	559.65	130	2486.64
5	2999.47	47	-5234.35	89	-2921.44	131	-3456.86
6	2881.61	48	-2654.76	90	2099.98	132	-828.99
7	2815.42	49	-579.46	91	-2384.4	133	-100.97
8	1935.06	50	1129.57	92	1871.88	134	97.3
9	-821.88	51	2432.38	93	-2038.88	135	-758.97
10	-3277.27	52	3327.74	94	1519.04	136	-127
11	-5320	53	3778.31	95	-1724.46	137	-7997.59
12	-6974.75	54	3481.42	96	1150.65	138	-1703.09
13	-8194.9	55	2914.57	97	-1330.19	139	1027.72
14	-9016.66	56	2952.44	98	803.24	140	-2034.49
15	-9430.45	57	4134.77	99	-983.9	141	2407.47
16	-9440.55	58	5334.14	100	454.02	142	-3143.24
17	-8887.6	59	5564.13	101	-630.62	143	3870.53
18	-7579.27	60	5343.52	102	100.14	144	-5614.47
19	-7294.71	61	4715.19	103	-280.23	145	5582.16
20	-7822.17	62	3681.05	104	-251.91		
21	-7630.74	63	2265.8	105	157.07		
22	-6979.63	64	374.66	106	-643.92		
23	-5891.27	65	-1882.58	107	1169.67		
24	-4395.09	66	-4470.03	108	-1265.46		
25	-2501.1	67	-7022.28	109	999.06		
26	-174.07	68	-7072.02	110	577.17		
27	2545	69	-7657.5	111	444.89		
28	5682.23	70	-8094.08	112	-644.3		
29	8771.15	71	-6619.98	113	377.75		
30	8019.85	72	-5087	114	-33.66		
31	7199.2	73	-4030.65	115	-443.43		
32	6800.33	74	0	116	329.18		
33	6457.45	75	-1151.04	117	-866.85		
34	3362.22	76	-985.56	118	682.3		
35	-2186.32	77	222.1	119	-1217.32		
36	-12274.96	78	-1234.6	120	1035.92		
37	0	79	806.29	121	-1570.6		
38	1470.04	80	-1439.83	122	1386.07		
39	-6628.54	81	744.23	123	-1913.24		
40	-10766.25	82	-1563.97	124	1723.54		
41	-12825.92	83	-3925.37	125	-2320.15		
42	-12808.17	84	-959.04	126	2103.28		

Ver anexo 4

Tabla 2.15.- Fuerzas axiales de elementos en estructura galvanizada

En el caso del canal C galvanizado (el que reemplazará a los ángulos en el diseño convencional) que componen las diagonales, se tomará un tipo de perfil C fabricado por PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A.(ver anexo 5), perfil que será analizado tanto en la parte central de la cubierta de la estructura como en las que forman las diagonales en las columnas, en el que se tratará de estandarizar por criterio de construcción, puesto que si se seleccionara un tipo de perfil por cada elemento los costos en maquinado y desperdicio aumentarían.

A continuación se presenta la selección de los elementos empezando por las correas. (ver planos en anexo).

SELECCIÓN DE CORREAS Z DE ACERO ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3 QUE SOPORTARÁN EL TECHO EN GALPÓN GALVANIZADO.

A partir del procedimiento de selección dado por PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A que vende y fabrica este tipo de perfiles Z galvanizados se tiene:

1) Se detallan parámetros de entrada

$L_c = 150 \text{ cm}$ Distancia entre correas

$Q = 60 \text{ Kg/m}^2$ Carga viva sugerida, contempla incluso peso de techo

2) Se calcula la longitud neta de las correas restándole a L_c 20 cm (recurso que también puede ser aplicado para este caso aunque el catalogo no lo contempla). Ver anexo 5.

$$L_n = L_c - 20 \text{ cm} = 150 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 130 \text{ cm}.$$

3) Se calcula la carga admisible P de cada correa Z en Kg/m

$$P = Q \times L_n = 60 \text{ Kg/m}^2 \times 1.3 \text{ m} = 78 \text{ Kg/m}$$

4) Seleccionando de la tabla dada en anexo 5, donde ingresando mediante el parámetro $L = 6\text{m}$ (longitud entre estructuras) se obtiene el perfil de una correa con características de carga admisible máxima de 82 Kg/m. y corresponde a un perfil **Z 175 x 38 x 10 x 1.4**, con un peso de 2.86 Kg/m, con un total de 18 correas que soportarán todo el techo.

SELECCIÓN DE CORREAS G DE ACERO ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3 QUE GENERAN EL CONTORNO DE GALPÓN GALVANIZADO.

Dadas las fuerzas que se generan entre la barras 1 y 74, las cuales se detallan en la figura 2.2 y representan el contorno de la estructura

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 15	-9430.45	70.00
Barra # 29	8771.15	111.27
Barra # 40	-10766.25	165.00
Barra # 41	-12825.92	101.27
Barra # 44	-13171.10	55.42

Tabla 2.16.- Cargas críticas para tensión y pandeo en galpón galvanizado

Definiendo ahora un conjunto de perfiles G galvanizados con los cuales se puede partir se tiene:

Perfil G	Altura (mm)	Base (mm)	Ceja (mm)	Espes. (mm)	Area (cm ²)	Inerc. (cm ⁴)
142C15	142	64	13	1.5	4.31	142.4
142C16	142	64	13	1.6	4.58	151.4
142C18	142	64	13	1.8	5.13	169.3
142C20	142	64	13	2.0	5.68	187

Ver tabla 1.1

Tabla 2.17.- Tipos de perfiles analizados

Escogiendo un tipo de perfil **G 142C15**, se realiza el análisis para cada uno de los elementos detallados en la tabla 2.16. Ejecutando un análisis a tensión pura en los elementos que se

encuentran a tensión (valores positivos) y un análisis de aplastamiento y pandeo a aquellos que se encuentran a compresión (valores negativos), se detalla el procedimiento siguiente.

Para los elementos a tensión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.17 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.16 (Kg)

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3. (3525 Kg/cm²)

2) Se procede a calcular el esfuerzo de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad

$$\eta = S_y/\sigma$$

Para valores superiores a la unidad el esfuerzo de trabajo no alcanza la fluencia por lo tanto el perfil no entrará a la zona plástica y cumple los requerimientos de diseño. Ver tabla 2.18 para observar este resultado.

Para los elementos a compresión

1) Se detallan los parámetros de entrada

- A: Área de perfil dada en tabla 2.17 (cm²)
- F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.16 (Kg)
- Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3. (3525 Kg/cm²)
- I: Inercia de perfil dada en tabla 2.17 (cm⁴)
- E: Modulo de elasticidad de acero (2.11x10⁶ Kg/cm²)
- L: Longitud de elemento a compresión dada en tabla 2.16

2) Se procede a calcular el esfuerzo de aplastamiento de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad por aplastamiento el cual deberá ser mayor que 1 para que el perfil cumpla la fuerza exigida.

$$\eta = S_y/\sigma$$

4) Se procede a encontrar el esfuerzo crítico de pandeo:

- Se halla el radio de giro k:

$$k = (I/A)^{1/2}$$

- Se encuentra la relación de esbeltez Sr:

$$S_r = L/k$$

- Se encuentra la relación de esbeltez crítica S_{rD}:

$$S_{rD} = \pi (2 E/ S_y)^{1/2}$$

Donde si:

Sr > S_{rD} entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = \pi^2 (E / S_r^2)$$

Sr < S_{rD} entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = S_y - (1 / E) (S_y \cdot S_r / 2 \pi)^2$$

Para nuestros casos analizados dados por los elementos de la tabla 2.16 Sr siempre es menor que S_{rD}.

- 5) Se halla el factor de seguridad el cual si es mayor que 1 el perfil cumple con la fuerza exigida sin entrar en pandeo.

$$\eta = \sigma_p / \sigma$$

Para este conjunto de procedimientos en la tabla 2.18 se detalla los factores de seguridad los mismos que cumplen a cabalidad, por lo que el perfil indicado es el **G 142C15**. Un perfil con menor característica en área e inercia que este, no cumpliría con los requisitos expuestos

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo
Barra # 15	-9430.45	70.00	1.61	1.60
Barra # 29	8771.15	111.27	1.70	--
Barra # 40	-10766.25	165.00	1.40	1.36
Barra # 41	-12825.92	101.27	1.18	1.17
Barra # 44	-13171.10	55.42	1.15	1.15

Tabla 2.18.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en perfiles G de contorno.

SELECCIÓN DE CANALES C CON PERFIL CORTO DE ACERO ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3 QUE FORMAN LAS DIAGONALES.

Dadas las fuerzas que se generan en las diagonales, se tomará dos secciones:

- Las que corresponden a las columnas y comprende las diagonales desde el elemento 75 hasta el elemento 91 y desde el elemento 129 al 145.
- Las que comprenden las diagonales del centro de la cubierta y corresponden a los elementos desde el 92 hasta el 128 (ver figura 2.2).

A continuación se detallan los elementos críticos:

Diagonales en columnas de estructura	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 129	-2967.95	69.46
Barra # 131	-3456.86	69.46
Barra # 137	-7997.59	156.20
Barra # 141	2407.47	123.87
Barra # 142	-3143.24	105.82
Barra # 144	-5614.47	81.53
Barra # 145	5582.16	114.48

Tabla 2.19.- Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de columnas de galpón galvanizado.

Diagonales en cubierta de estructura	Fuerza (Kg)	Longitud (cm)
Barra # 93	-2038.88	69.46
Barra # 108	-1265.46	78.26
Barra # 130	2486.64	69.46

Tabla 2.20.- Cargas críticas para tensión y pandeo en diagonales de centro de cubierta de galpón galvanizado.

Detallando las características del perfil C que produce PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A. (C 38.1x12.7x1.2), se analizará para cada uno de los casos si este perfil cumple, en caso contrario se define otros dos perfiles que la empresa podría producir con los espesores que cuenta. Adicionalmente, se detalla de igual forma la correa G 142C15 propicia para el elemento 137:

Perfiles doblados	Altura (mm)	Base (mm)	Espesor (mm)	Area (cm ²)	Inercia (cm ⁴)
Canal C 38.1x12.7x1.0	38.1	12.7	1.0	0.586	1.1609
Canal C 38.1x12.7x1.2	38.1	12.7	1.2	0.699	1.368
Canal C 38.1x12.7x1.4	38.1	12.7	1.4	0.809	1.569
Correa G 142C15	142	64	1.5	4.31	142.4

Tabla 2.21.- Tipos de perfiles analizados

Realizando el análisis para cada uno de los elementos detallados en la tabla 2.19 y 2.20.

Ejecutando un análisis a tensión pura en los elementos que se encuentran a tensión (valores positivos) y un análisis de aplastamiento y pandeo a aquellos que se encuentran a compresión (valores negativos), en los cuales se tomarán las características de los perfiles detallados en la tabla 2.21, se procede de la forma siguiente.

Para los elementos a tensión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.21 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.19 o 2.20

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3. (3525 Kg/cm²)

2) Se procede a calcular el esfuerzo de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad

$$\eta = S_y/\sigma$$

Para valores superiores a la unidad el esfuerzo de trabajo no alcanza la fluencia por lo tanto el perfil no entrará a la zona plástica y cumple los requerimientos de diseño. Ver tabla 2.22 y 2.23 para observar este resultado.

Para los elementos a compresión

1) Se detallan los parámetros de entrada

A: Área de perfil dada en tabla 2.21 (cm²)

F: Fuerza axial a tensión dada en tabla 2.19 o 2.20

Sy: Esfuerzo de fluencia de acero ASTM A-653 SS, GRADO 50, CLASE 3. (3525 Kg/cm²)

I: Inercia de perfil dada en tabla 2.21 (cm⁴)

E: Modulo de elasticidad de acero (2.11x10⁶ Kg/cm²)

L: Longitud de elemento a compresión dada en tabla 2.19 o 2.20

2) Se procede a calcular el esfuerzo de aplastamiento de trabajo

$$\sigma = F/A$$

3) Una vez hallado el esfuerzo de trabajo se procede a encontrar el factor de seguridad por aplastamiento el cual deberá ser mayor que 1 para que el perfil cumpla la fuerza exigida.

$$\eta = S_y/\sigma$$

4) Se procede a encontrar el esfuerzo crítico de pandeo:

- Se halla el radio de giro k:

$$k = (I/A)^{1/2}$$

- Se encuentra la relación de esbeltez S_r :

$$S_r = L/k$$

- Se encuentra la relación de esbeltez crítica S_{rD} :

$$S_{rD} = \pi (2 E/ S_y)^{1/2}$$

Donde si:

$S_r > S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = \pi^2 (E/ S_r^2)$$

$S_r < S_{rD}$ entonces el esfuerzo crítico de pandeo viene expresado por la fórmula:

$$\sigma_p = S_y - (1/ E) (S_y \cdot S_r/ 2 \pi)^2$$

Para los casos analizados anteriormente dados por los elementos de las tablas 2.19 y 2.20 S_r siempre es menor que S_{rD} .

5) Se halla el factor de seguridad el cual si es mayor que 1 el perfil cumple con la fuerza exigida sin entrar en pandeo.

$$\eta = \sigma_p/\sigma$$

Para este conjunto de procedimientos realizado en base a un proceso iterativo para converger a los perfiles óptimos, en las tablas 2.22 y 2.23 se detallan los factores de seguridad como los perfiles a los cuales se ha llegado.

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Long. (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo	Selección de perfil
Barra #129	-2967.95	69.46	1.66	1.50	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #131	-3456.86	69.46	1.42	1.28	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #137	-7997.59	156.20	3.8	3.68	Correa G 142C15
Barra #141	2407.47	123.87	2.04	--	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #142	-3143.24	105.82	1.57	1.19	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #144	-5614.47	81.53	1.76	1.50	2 Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #145	5582.16	114.48	1.77	1.23	2 Canal C 38.1x12.7x1.2

Tabla 2.22.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de columnas y perfiles respectivos

Elemento Estructural	Fuerza (Kg)	Long. (cm)	Factor de Seguridad (η) axial	Factor de Seguridad (η) pandeo	Selección de perfil
Barra # 93	-2038.88	69.46	2.41	2.17	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #108	-1265.46	78.26	3.90	3.50	Canal C 38.1x12.7x1.2
Barra #130	2486.64	69.46	1.98	--	Canal C 38.1x12.7x1.2

Tabla 2.23.- Factor de seguridad de cargas axiales y pandeo en diagonales de cubierta y perfiles respectivos

GENERALIDADES A PARTIR DE PERFILES SELECCIONADOS.

Como se expresó en el diseño anterior, por finalidades de construcción, se planteará simetría al momento de construir la estructura, puesto que las cargas de viento aplicadas en las paredes laterales del galpón en el lado izquierdo, podrían ser aplicadas en el lado derecho por efectos de direccionamiento en el viento. Esta simetría es expresada a través de los planos adjuntos para el diseño de galpón con perfiles galvanizados determinados en anexo.

Capítulo 3

3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE AMBOS DISEÑOS

3.1 Respecto al costo.

En el capítulo anterior se llegó al diseño óptimo tanto para el galpón convencional como para el galpón con perfiles galvanizados, sin embargo se necesitará cuantificar la cantidad de material a usar para los dos casos y de esta forma realizar un análisis comparativo en función a estos rubros.

En el galpón convencional intervendrán rubros correspondientes a pintura y lo que conlleva a su aplicación, determinando el tiempo indicado entre uno y otro mantenimiento.

En el galpón con perfiles galvanizados a diferencia del anterior diseño, no contemplará rubros de pintura puesto que su protección galvánica evita la corrosión, tema analizado en el sub-capítulo 1.3.

A continuaciones se presentan las tablas de costo.

COSTO DE GALPÓN CONVENCIONAL POR VANO (POR C/ ESTRUCTURAS)					
ITEM					
A MATERIALES					
Nº	Descripción	Cantidad	Unid.	C/unid(\$)	Costo Tot.(\$)
1	Canal de 125x50x3	15.00	u	23.73	355.91
2	Angulo dobl. 50x50x3	1.50	u	10.48	15.72
3	Angulo dobl. 40x40x3	11.50	u	8.28	95.26
4	Angulo dobl. 25x25x3	7.75	u	4.96	38.45
5	Correa G 125x50x15x3	18	u	25.93	466.69
6	Placas 75x50x3	18	u.	0.07	1.24
7	Techo Master 1000 (1x4.2m)	36		25.70	925.20
** 8	Pintura Unimastic de Unidas codigo 4011	1.75	Gln	32.70	57.23
9	Catalizador	1.75	Lt.	5.20	9.10
10	Desoxidante	1.2	Lt.	7.10	8.52
11	Soldadura	13	Kg.	3.25	42.25
	Total A				2015.57
B Mano de obra para construcción de estructura					
Nº	Personal	Cantidad	días	Sueldo (9 estruc.xdía)	Total(\$)
1	Técnico	1	10	30	33.33
2	Armadores	6	10	25	166.67
	Total B				200.00
C MONTAJE POR VANO					
	Descripción	Peso total (Kg.)	\$/Kg de montaje	Costo Tot.(\$)	
	Montaje incluido equipo	1774.87	0.40	709.95	
D TRANSPORTE					
	Descripción	Cantidad	\$ por unid.	Costo Tot.(\$)	
	Transp. de personal y equipo	1.00	20.00	20.00	
TOTAL DE OBRA A+B+C+D					\$ 2,945.52

ESTE RUBRO NO INCLUYE IVA

** El tiempo de vida considerado, antes del mantenimiento o aplicación para la renovación de pintura es de 8 años, considerando un ambiente industrial moderado

Tabla 3.1.- Costos de galpón convencional por tramo

COSTO DE GALPÓN GALVANIZADO POR VANO (POR C/ ESTRUCTURAS)					
ITEM					
A MATERIALES					
Nº	Descripción	Cantidad	Unid.	C/unid(\$)	Costo Tot.(\$)
1	Correa G 142C15	15	u	17.24	258.57
2	Canal C 38.1x12.7x1.2	20.75	u	2.80	58.06
4	Correa Z 175x38x10x1.4	18.5	u	14.19	262.55
5	Soporte sujeción 90x90x3	18	u.	0.22	3.89
6	Techo Master 1000 (1x4.2m)	36		25.70	925.2
7	Soldadura	12	Kg.	3.25	39
Total A					1547.26

B Mano de obra para construcción de estructura					
Nº	Personal	Cantidad	días	Sueldo (9 estruc.xdia)	Total(\$)
1	Técnico	1	10	30	33.33
2	Armadores	6	10	25	166.67
Total B					200.00

C MONTAJE POR VANO				
	Descripción	Peso total (Kg.)	\$/Kg de montaje	Costo Tot.(\$)
	Montaje incluido equipo	1239.04	0.40	495.61

D TRANSPORTE				
	Descripción	Cantidad	\$ por unid.	Costo Tot.(\$)
	Transp. de personal y equipo	1.00	20.00	20.00

TOTAL DE OBRA A+B+C+D				\$ 2,262.88
------------------------------	--	--	--	--------------------

ESTE RUBRO NO INCLUYE IVA

** El tiempo de vida considerado para un galvanizado G90 (norma ASTM) antes del mantenimiento es de 9 años, considerando un ambiente industrial moderado, por lo que su tiempo de vida es parecido al diseño anterior.

*** Aunque los costos no cumplen a primera instancia, se recomienda ver análisis financiero en sub-sección 3.3 respecto a durabilidad

Tabla 3.2.- Costos de galpón con elementos galvanizados por tramo

Relación de costos = $\$(2262.88 - 2,945.52) / \$2,945.52 = -23.17\%$
 (Como se observa, el costo del galpón galvanizado es menor que el convencional en un 23.17%)

3.2 Respecto al peso.

En el caso del galpón con elementos galvanizados, por encontrarse formado con un tipo de acero más resistente (Acero ASTM A 653 SS, grado 50, clase 3), podrán sus elementos adsorber las mismas cargas con una sección transversal de menor área por tanto con menor peso, sin embargo como se vio a lo largo de los cálculos de este proyecto, los elementos sometidos a compresión a más de ser analizados a cargas axiales, son analizados a pandeo, por lo que su área y geometría cambia inevitablemente aumentando estas secciones. A pesar de estos cambios marginales superiores, el peso de la estructura galvanizada se mantiene con un 30.19% abajo que el diseño del galpón convencional.

En las tablas 3.3 y 3.4, se presentan los pesos promedios de uno de los vanos, peso que representa tramos de galpón cada seis metro, tomados tres metros adelante y tres metros atrás de cada estructura, incluyendo techo, correas y perfiles concernientes a tramo.

PESO DE GALPÓN CONVENCIONAL POR VANO (POR C/ STRUCTURAS)				
Descripción	Cantidad	Unid.	Peso/unid	Peso tot.
Canal de 125x50x3	15.00	u	30.42	456.3
Angulo dobl. 50x50x3	1.50	u	13.44	20.16
Angulo dobl. 40x40x3	11.50	u	10.62	122.13
Angulo dobl. 25x25x3	7.75	u	6.36	49.29
Correa G 125x50x15x3	18	u	33.24	598.32
Placas 75x50x3	18	u	0.09	1.58976
Techo Master 1000 (1x4.2m)	36	u	14.28	514.08
Soldadura	13	u	1.00	13
Total Peso (Kilogramos)				1774.87

Tabla 3.3.- Peso por unidad de tramo de galpón convencional

PESO DE GALPÓN GALVANIZADO POR VANO (POR C/ ESTRUCTURAS)				
Descripción	Cantidad	Unid.	Peso/unid	Peso tot.
Correa G 142C15	15	u	20.28	304.2
Canal C 38.1x12.7x1.2	20.75	u	3.29	68.30402
Correa Z 175x38x10x1.4	18	u	17.16	308.88
Soporte sujeción 90x90x3	18	u.	0.25	4.572
Techo Master 1000 (1x4.2m)	36	u	14.28	514.08
Soldadura	12	Kg.	3.25	39
Total Peso (kilogramos)				1239.04

Tabla 3.4.- Peso por unidad de tramo de galpón galvanizado

Relación de peso = $(1239.04 - 1774.87) / 1774.87 = -30.19\%$

3.3 Respecto a la durabilidad.

A partir del análisis de costos, observamos que el tiempo de evaluación que comprende entre los dos diseños, es diferente entre uno y otro, sin embargo por efecto de análisis podríamos estar observando como un mismo período a ambos, ya que su diferenciación es mínima (1 año) y el grado de corrosión en los elementos galvánicos es relativa; cubriendo un porcentaje mínimo (5%) en oxidación de superficie.

Para lo señalado con respecto a los costos, **“vemos una ventaja (\$682.64)”** en el uso de elementos o perfiles galvanizados con acero ASTM A 653 SS, grado 50, clase 3, con una protección galvánica grado G90, para la construcción de galpones en sectores moderadamente industriales, de igual forma se observa este patrón para los del sector rural y urbano. Todo esto dado a las características con las que parte actualmente los elementos comercializados por PLYCEM ROOFTEC PLYTEC S.A., cuyo mercado (a diferencia de Master 1000), está orientado a un sector rural y urbano, en cuyo caso al ser este el ambiente de desarrollo del galpón, el período de vida de estos elementos se ampliaría a 16 y 12 años respectivamente (de acuerdo a la figura 1.4), por lo que su análisis en cuanto al costo se orientaría a uno financiero (dada la diferencia significativa del tiempo), involucrando el primer

mantenimiento (para ambos diseños) a ser aplicado y descontado a una tasa promedio efectiva anual de 2.5% (tasa pasiva bancaria como costo de oportunidad en depósitos y suministrado por Banco de Guayaquil).

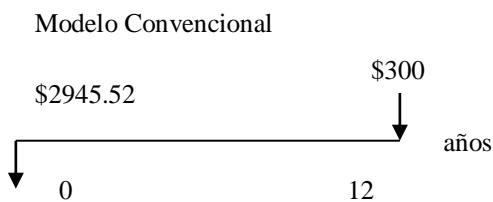
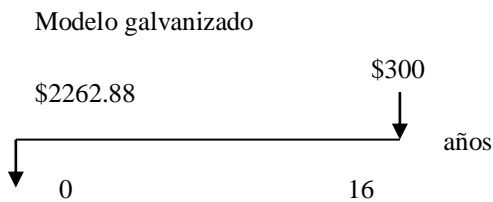
Para hacer de esta aplicación (elementos estructurales con recubrimiento galvánico), una verdadera ventaja, los elementos estructurales podrían tener un mayor período de vida en la aplicación de galpones en los sectores antes mencionado (de mayor importancia el del sector moderadamente industrial, puesto que a este mercado se orienta la finalidad de este estudio), para ello partiríamos de la consideración de elementos estructurales con acero ASTM A 653 SS, grado 50, clase 3, pero no con una norma de recubrimiento igual a la detallada por ASTM igual a G90, sino con una G185 ($1.85 \text{ onz/pie}^2 \approx 563.15 \text{ gr/m}^2$, $e_{\text{equiv.}}=1.02 \text{ mills} \approx 25.908 \mu\text{m}$), donde la evaluación de costo-tiempo, se enmarca en una evaluación con herramientas financieras, involucrando de igual forma períodos de mantenimiento que equilibre en lo posible un mismo horizonte de tiempo.

A continuación realizaremos análisis diferentes dado condiciones de ambiente (sectores rurales, urbanos y moderadamente industriales) como de espesor de recubrimiento galvánico ya sea del tipo ASTM G90 y G185. (Ver anexo 1), donde "VP es el valor presente o costo".

ANÁLISIS EN SECTOR RURAL CON RECUBRIMIENTO G90

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2262.88
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	16 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	12 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2262.88 + 300/(1+i)^{16} = \$2464.97$$

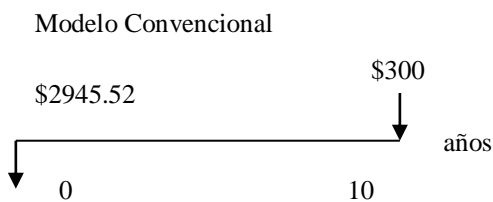
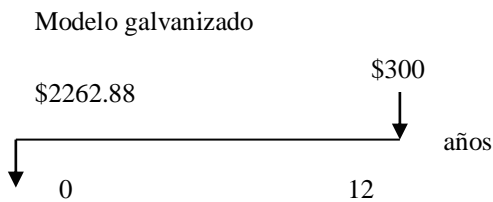
$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^{12} = \$3168.59$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 22.21%.

ANÁLISIS EN SECTOR URBANO CON RECUBRIMIENTO G90

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2262.88
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	12 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	10 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2262.88 + 300/(1+i)^{12} = \$2485.96$$

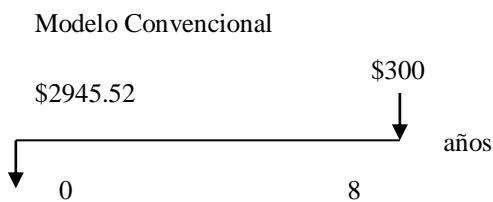
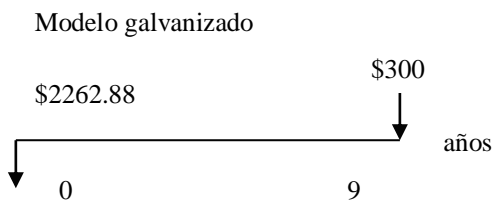
$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^{10} = \$3179.88$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 21.82%.

ANÁLISIS EN SECTOR MODERADO INDUSTRIAL CON RECUBRIMIENTO G90

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2262.88
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	9 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	8 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2262.88 + 300/(1+i)^9 = \$2503.10$$

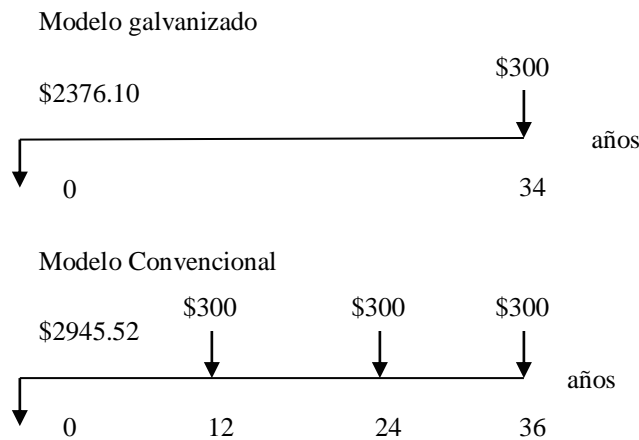
$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^8 = \$3191.74$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 21.58%.

ANÁLISIS EN SECTOR RURAL CON RECUBRIMIENTO G185

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2376.10
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	34 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	12 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2376.10 + 300/(1+i)^{34} = \$2505.67$$

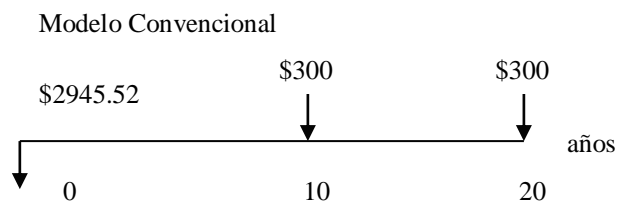
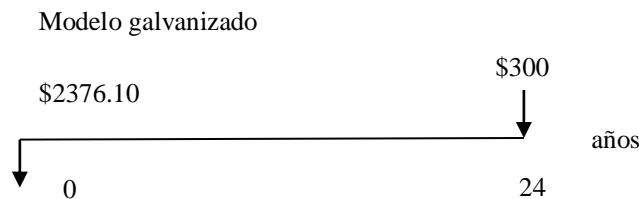
$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^{12} + 300/(1+i)^{24} + 300/(1+i)^{36} = \$3457.78$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 27.54%.

ANÁLISIS EN SECTOR URBANO CON RECUBRIMIENTO G185

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2376.10
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	24 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	10 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2376.10 + 300/(1+i)^{24} = \$2541.96$$

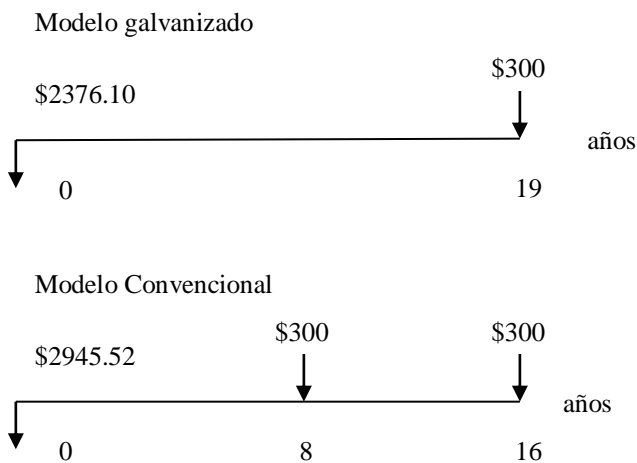
$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^{10} + 300/(1+i)^{20} = \$3362.96$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 24.41%.

ANÁLISIS EN SECTOR MODERADAMENTE INDUSTRIAL CON RECUBRIMIENTO G185

Datos de entrada:

Costos de construcción de tramo convencional:	\$ 2,945.52
Costos de construcción de tramo galvanizado:	\$ 2376.10
Costo promedio de aplicación de pintura: No incluye inflación	\$ 300.00
Tiempo de vida de recubrimiento galvanizado: Después de este tiempo se considera aplicación de pintura	19 años
Tiempo de vida de pintura en sector:	8 años
Tasa de descuento (tasa pasiva bancaria):	2.5 %



$$VP_{Galv} = 2376.10 + 300/(1+i)^{19} = \$2563.76$$

$$VP_{Conv} = 2945.52 + 300/(1+i)^{10} + 300/(1+i)^{20} = \$3362.96$$

$VP_{Galv} < VP_{Conv}$ con un 23.76%.

3.4 Matriz de decisión.

Dentro de la evaluación para la matriz de decisión contemplaremos factores como:

Costos: Que dada la incidencia de esta, al momento de tomar decisiones, se la ha ponderado con un valor alto del 50%

Peso: Aunque su incidencia se refleja más en los costos de montaje, se prevé un posible desmontaje futuro, dado cualquier escenario posible en el tiempo. Se la ponderado con un 5%

Durabilidad: La durabilidad comprende el tiempo de vida útil de las estructuras del galpón, que aunque su mantenimiento preservará el metal base, las inspecciones adicionales en el período de duración, incide en costos. Se ha ponderado con 20%

Utilidad operacional:

Comprende un beneficio subjetivo, para el propietario del galpón dada las molestias que toma formar los operativos para el pintado, traslado de personal (pintores) y accesorio (andamios). Se lo ha ponderado con un valor de 25%..

A continuación, se presenta las matrices de decisión:

SECTOR RURAL CON NORMA ASTM ESPEJOR G 90					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	38.41	3.49	15	25	81.90

SECTOR URBANO CON NORMA ASTM G 90					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	38.41	3.49	16.66	25	83.56

SECTOR INDUSTRIAL CON NORMA ASTM G 90					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	38.41	3.49	17.77	25	84.67

- Para costos: Partiendo del rubro dado en tablas 3.1 y 3.2, se puso como máximo valor al costo menor dado, disminuyendo para el segundo el porcentaje de diferencia existente
- Para pesos: Partiendo de las tablas 3.3 y 3.4, se puso como máximo, al menor peso dado, disminuyendo para el segundo el porcentaje de diferencia existente.
- Para la durabilidad: Partiendo del sub-capítulo 3.3, se puso como máximo al mayor tiempo de durabilidad para cada caso, ponderando con regla de tres directa el otro resultado.
- Para la utilidad operacional: Partiendo del sub-capítulo 3.3, se puso como máximo al menor número de operaciones (1) realizadas para mantenimiento, disminuyendo en 8.33% por cada aumento en 1 operación, es así que para (1) se tiene 25%, para (2) 16.66%, y para (3) 8.33%.

Tabla 3.5.- Matrices de decisión para diferentes ambiente bajo G90

SECTOR RURAL CON NORMA ASTM G 185					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	40.34	3.49	7.05	8.33	59.21

SECTOR URBANO CON NORMA ASTM G 185					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	40.34	3.49	8.33	16.66	68.82

SECTOR INDUSTRIAL CON NORMA ASTM G 185					
Tipo de Galpón	Costos	Peso	Durabilidad	Util.Operc.	Total %
GALVANIZADO	50	5	20	25	100
CONVENCIONAL	40.34	3.49	8.42	16.66	68.91

- Para costos: Partiendo del rubro dado en tablas 3.1 y 3.2, se puso como máximo valor al costo menor dado, disminuyendo para el segundo el porcentaje de diferencia existente
- Para pesos: Partiendo de las tablas 3.3 y 3.4, se puso como máximo, al menor peso dado, disminuyendo para el segundo el porcentaje de diferencia existente.
- Para la durabilidad: Partiendo del sub-capítulo 3.3, se puso como máximo al mayor tiempo de durabilidad para cada caso, ponderando con regla de tres directa el otro resultado.
- Para la utilidad operacional: Partiendo del sub-capítulo 3.3, se puso como máximo al menor número de operaciones (1) realizadas para mantenimiento, disminuyendo en 8.33% por cada aumento en 1 operación, es así que para (1) se tiene 25%, para (2) 16.66%, y para (3) 8.33%.

Tabla 3.6.- Matrices de decisión para diferentes ambiente bajo G185

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. En cuanto a costos, la fabricación de galpones con acero ASTM A 653 SS, grado 50, clase 3, con recubrimiento G90 tiene un costo de \$2262.88 frente a la construcción de un galpón usando acero convencional ASTM A-36 con un costo de \$2945.52, diferencia relativamente pequeña (\$ 682.64 por cada tramo de seis metros que encierra una estructura) con un porcentaje menor de 23.17%.
2. En cuanto a pesos, cada tramo de galpón con elementos galvanizados tiene un peso de 1239.04 Kg, frente al convencional con un peso de 1774.87 Kg., observándose así una reducción en peso de 30.19%
3. La evaluación financiera realizada en durabilidad (sub-capítulo 3.3), evaluación que involucra un período de mantenimiento para los elementos de la estructura tanto para el convencional como para el galpón con elementos galvanizados con recubrimiento G90, implica

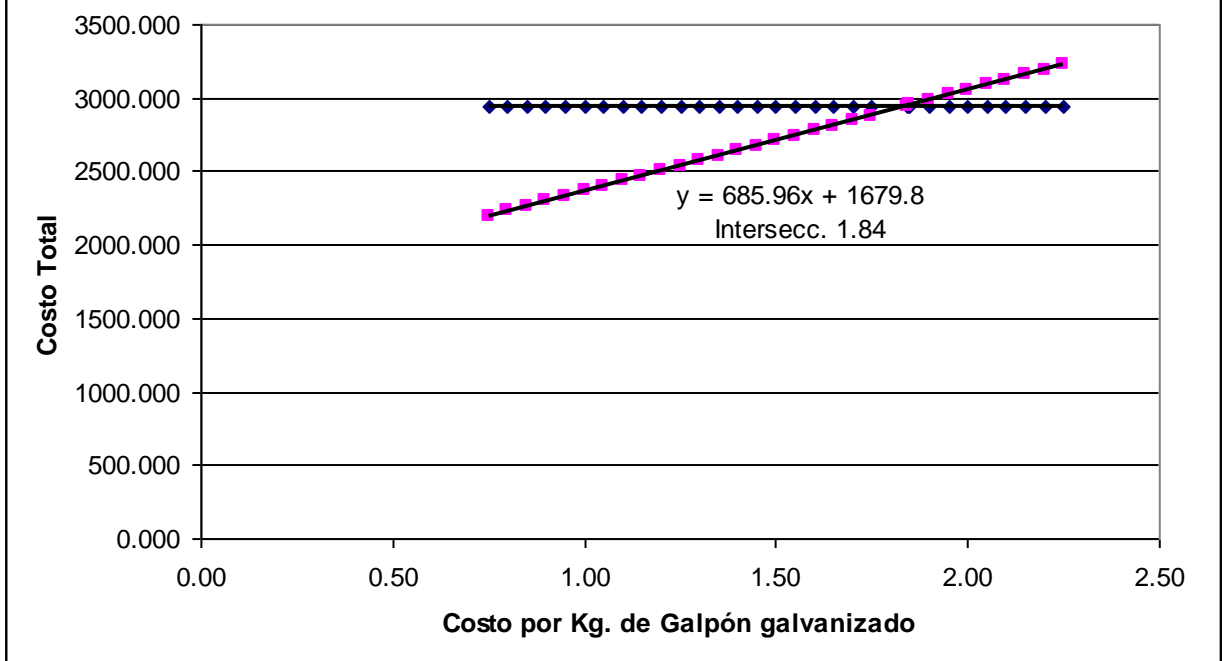
una reducción en la diferencia de costos tanto para los sectores rural, urbano e industrial con valores de 22.21%, 21.82%, 21.58%. Por lo que resulta ventajoso fabricar el galpón con elementos galvanizados.

4. Si PLYTEC ROOFTEC PLYCEM S.A., fabricara los mismos elementos estructurales con espesores G185, es decir, de 12.7 micras a 25. micras, con el fin de aumentar aún más las ventajas que presentan este tipo de elementos frente al acero común ASTM A-36 se percibirían costos más bajos, detallados en el sub-capítulo 3.3.
5. Al poseer elementos con espesores G185 se aumentaría el período de mantenimiento de estos, en los tres diferentes ambientes rural, urbano e industrial con 34, 24 y 19 años respectivamente, provocando en el caso de una estructura convencional que los mantenimientos de pintura aumenten incurriendo en mayores costos dentro de un mismo periodo de evaluación.
6. Dada la conclusión cinco y observando el sub-capítulo 3.3 para la evaluación financiera de estos diseños con espesores G185 (bajo el caso hipotético de que se los fabrique), los costos de estos galpones galvanizados distan aún más frente al convencional con diferencias de 27.54%, 24.41% y 23.76% para los ambientes rural, urbano e industrial.
7. Dado que la evaluación no solo implica costos sino otro conjunto de factores como durabilidad, peso y utilidad operacional (menor número

de operaciones en los proceso de mantenimiento de galpón), la matriz de decisión para elementos galvanizados con espesores G90 frente a galpones convencionales indica una clara disposición sobre el uso de estos elementos innovadores en el mercado como son las G, las Z y los canales de perfil corto (por su pequeño tamaño) galvanizados con acero ASTM A-653 SS, Grado 50, Clase 3.

8. La matriz de decisión para elementos galvanizados con espesores G185 frente a galpones convencionales indica mayores ventajas con respecto al G90, puesto que al generar las ponderaciones respectivas de utilidad operacional y de durabilidad permite apreciar ampliamente que el galpón galvanizado posee las mejores condiciones en cuanto al conjunto de criterios evaluados.
9. El costo del kilogramo de acero galvanizado ASTM A653 SS, grado 50, clase 3, fue evaluado a 0.85 USD/Kg, siendo muy rentable la fabricación de galpones en base a este material, sin embargo analizando a través de la sensibilidad de este precio vemos aún ventaja hasta 1.84 USD/Kg., para ello vemos el gráfico siguiente.

PROYECCIÓN DE COSTOS DE GALPÓN GALVANIZADO



RECOMENDACIONES

1. Se deberá generar estudios parecidos para estructuras de menor tamaño y en la aplicabilidad como elementos estructurales de una vivienda.
2. Se deberá generar una normalización de los perfiles en cuanto a sus medidas generales para adaptarse al mercado ecuatoriano puesto que al ser elementos estructurales innovadores deberán percibir el menor número de resistencias dadas por el mercado.
3. Al momento de la construcción es importante contar con un sistema de montaje eficaz, que permita la manipulación de la armadura, sin que esta sea afectada por agentes externos que destruyan la capa de galvanizado pues, esto incrementaría los costos de mantenimiento a futuro.

APÉNDICES

APENDICE A

NORMAS ASTM A653 Y ASTM A123

APENDICE B

CATÁLOGO DE PANELES DE ACERO PARA TECHO Y PAREDES.

APENDICE C

CATÁLOGO DE PERFILES DE ACERO ASTM A36

APENDICE D

D1. CORRIDA DE PROGRAMA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTOS FINITOS PARA GALPÓN CONVENCIONAL.

APENDICE D

D2. CORRIDA DE PROGRAMA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTOS FINITOS PARA GALPÓN GALVANIZADO.

APENDICE E

CATÁLOGO PARA SELECCIÓN DE CORREAS Z

PROPIEDADES MECANICAS - PERFILES Z PARA CORREAS DE TECHO											
DIMENSIONES			Espesor BMT e(mm)	Area	Peso	Eje X-X			Eje Y - Y		
H	b	c		A	P	Ix	Sx	Rx	Iy	Sy	Ry
mm	mm	mm	cm ²	Kgr/ m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
64	32	10	1.00	1.41	1.11	9.35	2.92	2.57	3.69	1.17	1.62
			1.20	1.68	1.32	11.02	3.44	2.56	4.30	1.37	1.60
			1.40	1.94	1.52	12.63	3.95	2.55	4.88	1.56	1.58
75	38	10	1.00	1.64	1.29	15.14	4.04	3.04	5.80	1.55	1.88
			1.20	1.96	1.54	17.89	4.77	3.02	6.79	1.82	1.86
			1.40	2.27	1.78	20.55	5.48	3.01	7.73	2.07	1.85
100	38	10	1.00	1.87	1.47	28.81	5.76	3.92	5.63	1.50	1.74
			1.20	2.23	1.75	34.20	6.84	3.91	6.62	1.77	1.72
			1.40	2.59	2.03	39.48	7.90	3.90	7.56	2.03	1.71
125	38	10	1.00	2.12	1.66	48.65	7.78	4.79	5.63	1.50	1.63
			1.20	2.53	1.99	57.83	9.25	4.78	6.62	1.77	1.62
			1.40	2.94	2.31	66.83	10.69	4.77	7.56	2.03	1.60
125	50	10	1.00	2.36	1.85	57.88	9.26	4.95	11.80	2.38	2.24
			1.20	2.82	2.21	68.87	11.02	4.94	13.93	2.82	2.22
			1.40	3.28	2.57	79.66	12.75	4.93	15.98	3.24	2.21
150	38	10	1.00	2.37	1.86	75.12	10.02	5.63	5.63	1.50	1.54
			1.20	2.83	2.22	89.38	11.92	5.62	6.62	1.77	1.53
			1.40	3.29	2.58	103.38	13.78	5.6	7.56	2.03	1.52
150	50	10	1.00	2.61	2.05	88.44	11.79	5.82	11.8	2.38	2.13
			1.20	3.12	2.45	105.32	14.04	5.81	13.93	2.82	2.11
			1.40	3.63	2.85	121.93	16.26	5.80	15.98	3.24	2.10
175	32	10	1.00	2.50	1.96	99.92	11.42	6.32	3.57	1.13	1.20
			1.20	3.00	2.35	119.51	13.66	6.32	4.18	1.33	1.18
			1.40	3.48	2.73	138.26	15.80	6.30	4.76	1.52	1.17
175	38	10	1.00	2.63	2.06	109.51	12.52	6.46	5.63	1.50	1.47
			1.20	3.14	2.44	130.38	14.90	6.44	6.62	1.77	1.45
			1.40	3.65	2.86	150.92	17.25	6.43	7.56	2.03	1.44
175	50	10	1.00	2.87	2.25	127.67	14.59	6.67	11.80	2.39	2.03
			1.20	3.43	2.69	152.13	17.39	6.66	13.93	2.82	2.02
			1.40	3.99	3.13	176.23	20.14	6.65	15.98	3.24	2.00
200	38	10	1.00	2.87	2.25	151.07	15.11	7.25	5.63	1.50	1.40
			1.20	3.43	2.69	179.96	18.00	7.24	6.62	1.77	1.39
			1.40	3.99	3.13	208.43	20.84	7.23	7.56	2.03	1.38
200	50	10	1.00	3.11	2.44	174.83	17.48	7.50	11.80	2.39	1.95
			1.20	3.72	2.92	208.42	20.84	7.48	13.93	2.82	1.94
			1.40	4.33	3.39	241.56	24.16	7.47	15.98	3.24	1.92

Nomenclatura :

H = Altura del perfil , mm

B = Ancho del perfil , mm

c = Ancho del labio , mm

e = Espesor del acero base , BMT , mm

Ix = Momento de inercia respecto al eje x - x , cm⁴

Iy = Momento de inercia respecto al eje y - y , cm⁴

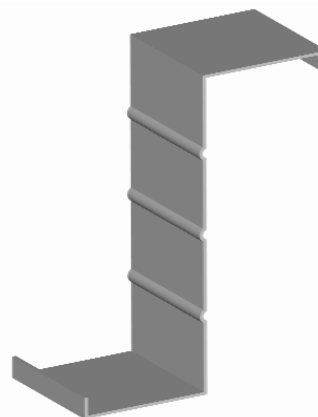
Sx = Modulo resistente respecto al eje x - x , cm³

Sy = Modulo resistente respecto al eje y - y , cm³

Rx = Radio de giro respecto al eje x - x , cm

Ry = Radio de giro respecto al eje y - y , cm.

P = Peso del perfil por unidad de longitud , Kg / m.



BIBLIOGRAFÍA

- 1 PLYTEC ROOFTEC PLYCEM. Catálogo de perfiles G y Z galvanizados.
- 2 Normas ASTM A653/ A653M-99 y ASTM A123/ 123M-00.
- 3 Roger L Brockenbrough. Y Frederick S. Merritt. Manual de Diseño de Estructuras de Acero. Editorial Mc Graw Hill. 1994. Segunda Edición.
- 4 Charles H Norris y John B. Wilbur. Análisis Elemental de Estructuras. Editorial Mc Graw Hill. México 1973. Segunda Edición.
- 5 Jhon E. Lothers. Diseño de Estructuras Metálicas. Editorial Prentice may International. U.S.A 1973. Primera Edición.