

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Agrícola**

**Procedimiento de Análisis y Diseño Estructural de  
Invernaderos en Acero Laminado en Frío para  
Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Facultad de Ingeniería  
como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Agrícola.

*Nelson Fernando Acuña Bermúdez*

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio**  
**Enero de 2014**

Sometido a la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la Universidad  
de Costa Rica como requisito para optar por el grado de:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

Aprobado por el Tribunal:

---

Ing. Giovanni Carmona Villalobos  
Miembro del Tribunal

---

Ing. Carlos Manuel Benavides León. M.Sc.  
Director, Comité Asesor

---

Ing. Miguel Cruz Azofeifa. PhD  
Miembro, Comité Asesor

---

Ing. Carlos Méndez Soto M.Sc.  
Miembro, Comité Asesor

---

Ing. George Govaere Vicarriolí PhD.  
Miembro del Tribunal

## **Dedicatoria**

A mis padres Luis Acuña y Xinia Bermúdez por forjar mi bienestar  
con su amor, sacrificio y su apoyo incondicional.

A mis hermanos Mónica y Luis.

## **Agradecimientos**

Al Ing. Carlos Benavides León M.Sc quien siempre brindó su apoyo y anuencia en cada momento que se solicitó consejo, ofreciendo ideas fundamentales que dieron forma a este trabajo.

A mis lectores, Ing. Carlos Méndez Soto M.Sc y al Ing. Miguel Cruz Azofeifa PhD, por su tiempo y consejos durante el desarrollo de este tema.

A mis amigos y compañeros que, de una u otra forma, me ofrecieron su tiempo y esfuerzo en el planteo, montaje y composición de este trabajo.

Y, por supuesto, a mi familia que entregan las mejores palabras de aliento en cada peldaño de mi vida.

# Índice general

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas .....	ix
Índice de gráficos.....	xvii
Nomenclatura.....	xix
Resumen.....	xx
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>1</b>
Introducción.....	1
1.    Tema de investigación .....	1
2.    Delimitación del problema.....	1
3.    Justificación .....	2
4.    Objetivo de la investigación .....	5
4.1.  Objetivos específicos .....	5
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>6</b>
Recopilación de literatura para el análisis y diseño estructural .....	6
1.    Etapas de un proyecto estructural .....	6
3.    Definición y tipos de estructuras de protección.....	8
4.    Componentes y sistemas estructurales más usados en invernaderos .....	11
5.    Elementos del invernadero y su función .....	12
6.    Estabilidad estructural.....	14
7.    Cargas permanentes, temporales y accidentales.....	17
8.    Materiales.....	38
9.    Diseño de acero laminado en frío .....	48
10.   Diseño de cimentaciones.....	69
11.   Sistema de evacuación de aguas de lluvia.....	79
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>84</b>
Metodología de diseño y resultados.....	84
1.    Estabilidad de la estructura .....	86
2.    Configuración de la estructura propuesta .....	86
3.    Cargas permanentes, temporales y accidentales .....	89
4.    Diagramas obtenidos de SAP2000 para el marco central .....	104
5.    Diseño de acero laminado en frío.....	110
6.    Diseño de Cimientos.....	119
7.    Resistencia del plástico.....	136
8.    Secciones finales para el prototipo 1 .....	147

9.	Parámetros de optimización para los prototipos .....	149
10.	Diseño del sistema de evacuación pluvial .....	151
<b>Capítulo 4.....</b>		<b>154</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>		<b>154</b>
1.	Conclusiones .....	154
2.	Recomendaciones .....	155
<b>Anexos.....</b>		<b>160</b>
	Anexo A: Valores máximos por sección para el prototipo 1 .....	160
	Anexo B: Revisión de los elementos según diseño de acero .....	170
	Anexo C: Configuraciones Propuestas .....	188
	Anexo D: Cargas en los Invernaderos .....	202
	Anexo E: Cimientos en los invernaderos.....	232
	Anexo F: Secciones finales de los invernaderos.....	245

# Índice de figuras

## Capítulo 2

Figura 2.1 Invernadero tipo parral o almería .....	9
Figura 2.2 Invernadero tipo tunel o multitunel .....	10
Figura 2.3 Invernadero tipo cristal.....	11
Figura 2.4 Equilibrio inestable.....	15
Figura 2.5 Inestabilidad geométrica.....	14
Figura 2.6 Estructura invariante hiperestatica .....	17
Figura 2.7 Descripción de la catenaria.....	47
Figura 2.8 Deformación torsional debido a la aplicación de una carga excentrica a un perfil .....	49
Figura 2.9 Pandeo torsional en un perfil C .....	50
Figura 2.10 Propiedades geometricas de una sección tubular .....	52
Figura 2.11 Simetria doble.....	55
Figura 2.12 Simetria simple.....	55
Figura 2.13 Cortante bidimensional en una zapata que soporta una columna .....	71
Figura 2.14 Cortante unidimensional en la zapata.....	72
Figura 2.15 Verificación del aplastamiento .....	73
Figura 2.16 Zapata con flexión biaxial .....	74
Figura 2.17 Lluvias máximas anuales.....	81

## Capítulo 3

Figura 3.1 Vista isometrica del prototipo 1 .....	87
Figura 3.2 Vista frontal de los marcos para el prototipo 1 .....	87
Figura 3.3 Vista superior del invernadero a la altura de 4m.....	88
Figura 3.4 Distribución de los marcos laterales.....	88
Figura 3.5 Dirección para el calculo de la fuerza sismica .....	93
Figura 3.6 Designaciones para dirección del viento .....	97
Figura 3.7 Carga muerta y viva para el marco central.....	104
Figura 3.8 Carga de sismo para el marco central.....	105

Figura 3.9 Carga de viento para edificios parcialmente cerrados .....	105
Figura 3.10 Carga de viento para edificios cerrados.....	106
Figura 3.11 Carga de viento para edificios abiertos .....	106
Figura 3.12 Momento para el marco central (Combinación envolvente) .....	109
Figura 3.13 Cortante para el marco central (Combinación envolvente).....	110
Figura 3.14 Sección efectiva del perfil 72x72x1,8 .....	112
Figura 3.15 Sección efectiva del perfil 50x50x1,8 .....	114
Figura 3.16 Planta de cimientos.....	119
Figura 3.17 Detalle de la zapata tipo A .....	126
Figura 3.18 Zapata rectangular combinada.....	131
Figura 3.19 Vista transversal de pedestal .....	134
Figura 3.20 Vista lateral de la zapata tipo B.....	134
Figura 3.21 Vista superior de la zapata tipo B.....	135
Figura 3.22 Planta de cimientos y reacciones.....	135
Figura 3.23 Sección de la canoa .....	153

## **Anexos**

### **C**

Figura C.1 Vista isometrica del invernadero .....	188
Figura C.2 Vista frontal de los marcos .....	189
Figura C.3 Vista superior del invernadero.....	189
Figura C.4 Distribución de marcos laterales.....	190
Figura C.5 Vista isometrica del invernadero .....	191
Figura C.6 Vista frontal de los marcos .....	191
Figura C.7 Vista superior del invernadero a la altura de 4m .....	192
Figura C.8 Distribución de los marcos laterales .....	192
Figura C.9 Vista isometrica del invernadero .....	193
Figura C.10 Vista frontal de los marcos .....	193
Figura C.11 Vista superior del invernadero a la altura de 5m .....	194
Figura C.12 Distribucion de los marcos laterales .....	194

Figura C.13 Vista isometrica del iinvernadero .....	195
Figura C.14 Vista frontal del invernadero .....	195
Figura C.15 Vista superior del invernadero a la altura de 4m .....	196
Figura C.16 Distribución de marcos laterales.....	196
Figura C.17 Vista isometrica del invernadero .....	197
Figura C.18 Vista frontal de los marcos .....	197
Figura C.19 Vista superior del invernadero a la altura de 5m .....	198
Figura C.20 Distribución de los marcos laterales .....	198
Figura C.21 Vista isometrica del invernadero .....	199
Figura C.22 Vista frontal de los marcos .....	199
Figura C.23 Vista superior del invernadero.....	200
Figura C.24 Distribución de los marcos laterales .....	200
Figura C.25 Vista isometrica del invernadero .....	201
Figura C.26 Vista frontal de los marcos .....	201
<b>C</b>	
Figura C.25 Vista isometrica del invernadero .....	201
Figura C.26 Vista frontal de los marcos .....	201
<b>E</b>	
Figura E.1 Planta de cimientos para el prototipo 2.....	234
Figura E.2 Planta de cimientos para el prototipo 1 .....	239
Figura E.3 Planta de cimientos para el prototipo 2.....	242

# Índice de tablas

## Capítulo 2

Tabla 2.1 Valores para el factor de direccionalidad .....	20
Tabla 2.2 Factor topográfico.....	22
Tabla 2.3 Constantes de la exposición del terreno.....	24
Tabla 2.4 Coeficientes de presión interna.....	24
Tabla 2.5 Coeficientes de presión de velocidad.....	25
Tabla 2.6 Coeficientes de presión externa( $C_p$ ) para edificios cerrados y parcialmente cerrados.....	27
Tabla 2.7 Coeficientes de presión externa( $C_p$ ) para techos arqueados .....	28
Tabla 2.8 Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ ) .....	29
Tabla 2.9 Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ ) .....	30
Tabla 2.10 Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ ).....	31
Tabla 2.11 Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ ).....	32
Tabla 2.12 Aceleración pico efectiva de diseño .....	33
Tabla 2.13 Sistema estructural tipo dual.....	34
Tabla 2.14 Tubería estructural cuadrada de hierro galvanizado .....	42
Tabla 2.15 Tubería redonda para malla de hierro galvanizado.....	42
Tabla 2.16 Principales propiedades mecánicas de los plásticos .....	45
Tabla 2.17 Valor $k$ para determinar el pandeo crítico, constante de calibración.....	53
Tabla 2.18 Factor de longitud efectiva, $k$ .....	57
Tabla 2.19 Coeficientes de escorrentia en la formula racional .....	80
Tabla 2.20 Caudales máximos en bajantes de desagüe de aguas de lluvia.....	83

## Capítulo 3

Tabla 3.1 Prototipos para el techo a dos aguas .....	84
Tabla 3.2 Prototipos para el techo en arco.....	85
Tabla 3.3 Descripción de secciones y pesos para el marco frontal.....	89

Tabla 3.4 Descripción de secciones y pesos para el marco posterior .....	90
Tabla 3.5 Descripción de secciones y pesos para los marcos internos .....	91
Tabla 3.6 Descripción de secciones y pesos para el marco central .....	92
Tabla 3.7 Descripción de secciones y pesos para el cálculo de la fuerza sísmica en X .....	94
Tabla 3.8 Parámetros iniciales para el calculo de la fuerza sísmica .....	95
Tabla 3.9 Fuerza de sísmo para cada marco .....	95
Tabla 3.10 Fuerza sismica para el marco lateral.....	95
Tabla 3.11 Factores para el cálculo de la fuerza de viento .....	96
Tabla 3.12 Factor ráfaga para el caso 1 .....	97
Tabla 3.13 Factor ráfaga para el caso 2 .....	98
Tabla 3.14 Coeficiente para edificios parcialmente cerrados .....	98
Tabla 3.15 Coeficiente para la presión de velocidad .....	99
Tabla 3.16 Presiones en las paredes para el caso 1 .....	99
Tabla 3.17 Presiones en el techo para el caso 1 .....	99
Tabla 3.18 Presiones en las paredes en el caso 2.....	100
Tabla 3.19 Presiones en el techo para el caso 2.....	100
Tabla 3.20 Coeficientes para edificios cerrados .....	100
Tabla 3.21 Coeficientes para la presión de velocidad.....	101
Tabla 3.22 Presiones en las paredes para caso 1.....	101
Tabla 3.23 Presiones en el techo para el caso 1 .....	101
Tabla 3.24 Presiones en las paredes en el caso 2.....	102
Tabla 3.25 Presiones en el techo para el caso 2.....	102
Tabla 3.26 Coeficientes para edificios abiertos .....	102
Tabla 3.27 Coeficientes para la presión de velocidad.....	103
Tabla 3.28 Presiones para edificios abiertos en el caso 1 .....	103
Tabla 3.29 Presiones para edificios abiertos en el caso 2.....	103
Tabla 3.30 Secciones del invernadero .....	110
Tabla 3.31 Propiedades de la sección 72x72x1,8 .....	111
Tabla 3.32 Localización del eje neutro $y_{cg}$ .....	113
Tabla 3.33 Propiedades de la sección 50x50x1,8 .....	113

Tabla 3.34 Localización del eje neutro $y_{eg}$ .....	115
Tabla 3.35 Valores críticos para la sección arriostres de puerta.....	115
Tabla 3.36 Revisión de flexión para la sección arriostres de puerta.....	117
Tabla 3.37 Revisión de compresión para la sección arriostres de puerta .....	117
Tabla 3.38 Revisión de cortante para la sección arriostres de puerta .....	117
Tabla 3.39 Revisión de tensión para la sección arriostres de puerta .....	118
Tabla 3.40 Revisión de combinación carga axial y flexión en la sección arriostres de puerta .....	118
Tabla 3.41 Revisión de combinación carga axial y cortante en la sección arriostres de puerta .....	118
Tabla 3.42 Reacciones en zapatas aisladas tipo A (1) .....	120
Tabla 3.43 Reacciones en zapatas aisladas tipo A (2) .....	121
Tabla 3.44 Datos iniciales para el cimiento C12 .....	122
Tabla 3.45 Resultados para tanteos de B .....	122
Tabla 3.46 Condiciones de estado último para el valor de B.....	122
Tabla 3.47 Propuesta inicial de dimensiones .....	123
Tabla 3.48 Revisión de punzamiento o cortante bidireccional .....	123
Tabla 3.49 Revisión de cortante unidireccional.....	123
Tabla 3.50 Revisión de la resistencia por aplastamiento .....	124
Tabla 3.51 Fuerza en contra de la succión.....	124
Tabla 3.52 Dimensiones finales.....	124
Tabla 3.53 Reacciones en zapatas tipo B.....	127
Tabla 3.54 Datos iniciales para el cimiento C04 .....	128
Tabla 3.55 Resultados para el tanteo de B.....	128
Tabla 3.56 Condiciones de estado último para el valor de B.....	129
Tabla 3.57 Propuesta inicial de dimensiones .....	129
Tabla 3.58 Revisión de punzonamiento o cortante bidireccional .....	129
Tabla 3.59 Revisión de cortante unidireccional.....	130
Tabla 3.60 Revisión de la resistencia por aplastamiento .....	130
Tabla 3.61 Fuerza en contra de la succión.....	130

Tabla 3.62 Diseño de zapata combinada .....	131
Tabla 3.63 Dimensiones definitivas de zapata combinada .....	132
Tabla 3.64 Fuerza en contra de succión.....	132
Tabla 3.65 Calculo de la caternaría para una deflexion de 1cm .....	136
Tabla 3.66 Resultados para una deflexión de 1cm .....	137
Tabla 3.67 Calculo de la caternaría para una deflexión de 3cm .....	137
Tabla 3.68 Resultados par una deflexión de 3cm .....	137
Tabla 3.69 Calculo de una caternaría para una deflexión de 5cm .....	138
Tabla 3.70 Resultados para una deflexión de 5cm .....	138
Tabla 3.71 Calculo de la caternaría para una deflexión de 1cm .....	139
Tabla 3.72 Resultados para una deflexión de 1cm .....	139
Tabla 3.73 Calculo de la caternaría para una deflexión de 3cm .....	140
Tabla 3.74 Resultados para una deflexión de 3cm .....	140
Tabla 3.75 Calculo de la caternaría para una deflexión de 5cm .....	140
Tabla 3.76 Resultados para una deflexión de 5cm .....	141
Tabla 3.77 Calculo de la caternaría para una deflexión de 1cm .....	142
Tabla 3.78 Resultados para una deflexión de 1cm .....	142
Tabla 3.79 Calculo de la caternaría para una deflexión de 3cm .....	143
Tabla 3.80 Resultados para una deflexión de 3cm .....	143
Tabla 3.81 Calculo de la caternaría para una deflexión de 5cm .....	143
Tabla 3.82 Resultados para una deflexión de 5cm .....	143
Tabla 3.83 Calculo de la caternaría para una deflexión de 1cm .....	145
Tabla 3.84 Resultados para una deflexión de 1cm .....	145
Tabla 3.85 Calculo de la caternaría para una deflexión de 3cm .....	145
Tabla 3.86 Resultados para una deflexión de 3cm .....	145
Tabla 3.87 Calculo de la caternaría para una deflexión de 5cm .....	146
Tabla 3.88 Resultados para una deflexión de 5cm .....	146
Tabla 3.89 Secciones finales para el marco frontal y posterior .....	148
Tabla 3.90 Secciones finales para marcos centrales .....	148
Tabla 3.91 Valores de kg por metro cubico de invernadero .....	149

Tabla 3.92 Valores de kg por metro cuadrado para los diferentes dimensionamientos .....	150
---	-----

## **Anexos**

### **A**

Tabla A.1 Valores máximos para la sección arriostres de techo .....	160
Tabla A.2 Valores máximos para la sección arriostres entre marcos .....	161
Tabla A.3 Valores máximos para la sección arriostres frontales.....	161
Tabla A.4 Valores máximos para la sección arriostres de triangulo de marco.....	162
Tabla A.5 Valores máximos para la sección columnas de puerta.....	162
Tabla A.6 Valores máximos para la sección columnas .....	163
Tabla A.7 Valores máximos para la sección cuerda inferior.....	163
Tabla A.8 Valores máximos para la sección cuerda superior .....	164
Tabla A.9 Valores máximos para la sección elementos de cercha .....	164
Tabla A.10 Valores máximos para la sección largueros de techo .....	165
Tabla A.11 Valores máximos para la sección ventana cenital.....	166
Tabla A.12 Valores máximos para la sección ventana lateral .....	167
Tabla A.13 Valores máximos para la sección viga de puerta .....	168
Tabla A.14 Valores máximos para la sección viga de techo .....	169

### **B**

Tabla B.1 Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (1) .....	170
Tabla B.2 Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (2) .....	170
Tabla B.3 Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (3) .....	171
Tabla B.4 Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (1) ....	171
Tabla B.5 Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (2) ....	172
Tabla B.6 Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (3) ....	173
Tabla B.7 Revisión de cortante para las secciones del invernadero (1) .....	174
Tabla B.8 Revisión de cortante para las secciones del invernadero (2) .....	175
Tabla B.9 Revisión de cortante para las secciones del invernadero (3) .....	176
Tabla B.10 Revisión de tension para las secciones del invernadero (1).....	177
Tabla B.11 Revisión de tension para las secciones del invernadero (2).....	178

Tabla B.12 Revisión de tensión para las secciones del invernadero (3).....	179
Tabla B.13 Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (1).....	180
Tabla B.14 Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (2).....	181
Tabla B.15 Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (3).....	182
Tabla B.16 Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (4).....	183
Tabla B.17 Revisión de la combinación carga axial y cortante (1).....	184
Tabla B.18 Revisión de la combinación carga axial y cortante (2).....	185
Tabla B.19 Revisión de la combinación carga axial y cortante (3).....	186
Tabla B.20 Revisión de la combinación carga axial y cortante (4).....	187

## **D**

Tabla D.1 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	202
Tabla D.2 Descripción de secciones y pesos para marco posterior.....	203
Tabla D.3 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 3.....	203
Tabla D.4 Descripción de secciones y pesos para marco central.....	204
Tabla D.5 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	205
Tabla D.6 Descripción de secciones y pesos para marco posterior.....	205
Tabla D.7 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 5.....	206
Tabla D.8 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 2, 3 y 4.....	207
Tabla D.9 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	208
Tabla D.10 Descripción de secciones y pesos para marco posterior.....	208
Tabla D.11 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 5.....	209
Tabla D.12 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 2, 3 y 4.....	210
Tabla D.13 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	211
Tabla D.14 Descripción de secciones y pesos para marco posterior.....	211
Tabla D.15 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 3.....	212
Tabla D.16 Descripción de secciones y pesos para marco central.....	213
Tabla D.17 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	214

Tabla D.18 Descripción de secciones y pesos para marco posterior .....	214
Tabla D.19 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 3.....	215
Tabla D.20 Descripción de secciones y pesos para marco central .....	216
Tabla D.21 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	217
Tabla D.22 Descripción de secciones y pesos para marco posterior .....	217
Tabla D.23 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 1 y 5.....	218
Tabla D.24 Descripción de secciones y pesos para marcos internos 2, 3 y 4.....	219
Tabla D.25 Descripción de secciones y pesos para marco frontal.....	220
Tabla D.26 Descripción de secciones y pesos para el marco posterior .....	220
Tabla D.27 Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 5 .....	221
Tabla D.28 Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 2,3 y 4 .....	222
Tabla D.29 Fuerza de sismo en y.....	223
Tabla D.30 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	223
Tabla D.31 Fuerza de sismo en x.....	224
Tabla D.32 Fuerza de sismo en y.....	224
Tabla D.33 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	224
Tabla D.34 Fuerza de sismo en x.....	225
Tabla D.35 Fuerza de sismo en y.....	225
Tabla D.36 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	225
Tabla D.37 Fuerza de sismo en x.....	226
Tabla D.38 Fuerza de sismo en y.....	226
Tabla D.39 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	226
Tabla D.40 Fuerza de sismo en x.....	227
Tabla D.41 Fuerza de sismo en y.....	227
Tabla D.42 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	227
Tabla D.43 Fuerza de sismo en x.....	227
Tabla D.44 Fuerza de sismo en y.....	228
Tabla D.45 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sismica en x.....	228
Tabla D.46 Fuerza de sismo en x.....	228
Tabla D.47 Fuerza de sismo en y.....	229

Tabla D.48 Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en x.....	229
Tabla D.49 Fuerza de sismo en x.....	229
Tabla D.50 Presiones de viento para invernaderos con techos a dos aguas .....	230
Tabla D.51 Presiones de viento para invernaderos con techo en arco.....	231
<b>E</b>	
Tabla E.1 Reacciones en cimientos para el prototipo 2.....	232
Tabla E.2 Dimensiones finales para el cimiento tipo A .....	233
Tabla E.3 Dimensiones finales para el cimiento tipo B.....	233
Tabla E.4 Reacciones en cimientos para el prototipo 3.....	235
Tabla E.5 Reacciones en cimientos para el prototipo 4.....	236
Tabla E.6 Reacciones en cimientos para el prototipo 1 .....	237
Tabla E.7 Dimensiones finales para el cimiento tipo A .....	238
Tabla E.8 Dimensiones finales para el cimiento tipo B.....	238
Tabla E.9 Reacciones en cimientos para el prototipo 2.....	240
Tabla E.10 Dimensiones finales para el cimiento tipo A.....	241
Tabla E.11 Dimensiones finales para el cimiento tipo B.....	241
Tabla E.12 Reacciones en cimientos para el prototipo 3.....	243
Tabla E.13 Reacciones en cimientos para el prototipo 4.....	243
<b>F</b>	
Tabla F.1 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	245
Tabla F.2 Secciones finales para los marcos internos .....	245
Tabla F.3 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	246
Tabla F.4 Secciones finales para los marcos internos .....	246
Tabla F.5 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	247
Tabla F.6 Secciones finales para los marcos internos .....	247
Tabla F.7 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	248
Tabla F.8 Secciones finales para los marcos internos .....	248
Tabla F.9 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	249
Tabla F.10 Secciones finales para los marcos internos.....	249
Tabla F.11 Secciones finales para el marco frontal y posterior.....	250

Tabla F.12 Secciones finales para los marcos internos.....	250
Tabla F.13 Secciones finales para el marco frontal y posterior .....	251
Tabla F.14 Secciones finales para los marcos internos.....	251

## Índice de gráficos

### Capítulo 3

Gráfico 3.1 Comportamiento de la catenaria para una separación de 3m .....	138
Gráfico 3.2 Comportamiento de la catenaria para una separación de 1.68m .....	141
Gráfico 3.3 Comportamiento de la catenaria para una separación de 1.50m .....	144
Gráfico 3.4 Comportamiento de la catenaria para una separación de 0.84m .....	147
Gráfico 3.5 Kilogramos de acero por metro cubico de invernadero.....	150
Gráfico 3.6 Kilogramos de acero por metro cuadrado de invernadero.....	151

## **Nomenclatura**

AISC: American Institute of Steel Construction.

AISI: American Iron and Steel Institute.

ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers

LANAMME: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

NGMA: National Greenhouse Manufacturers Association

SAP: Structural Analysis Program

CNPC: Centro de Normalización y Certificación de Productos

LRFD: Load and Resistance Factor Design.

ACI: American Concrete Institute.

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

## **Resumen**

La situación nacional entorno a la producción e infraestructura en ambientes protegidos se basa en dos tipos de invernaderos, los de construcción artesanal con métodos empíricos para su concepción estructural y controles climáticos y los industriales con alto grado de tecnología y respaldo por parte de grandes empresas, sin embargo son diseñados para otras latitudes que no contemplan la condiciones climáticas y topográficas de Costa Rica.

Por lo que esta investigación tiene por objetivo analizar el diseño estructural de invernaderos para nuestro país, en donde se consideraron factores de dimensiones, cargas permanentes, cargas temporales, materiales y métodos constructivos, cimentación y reglamentación nacional e internacional para este tipo de estructuras.

Para lograr este objetivo se definieron dos tipos de invernaderos uno con la estructura de techo a dos aguas y el otro con el techo en arco, además para cada tipo se analizaron cuatro prototipos variando sus dimensiones.

Se definieron las cargas en la estructura según lo recomendado en la normativa, la configuración de marco que cumpliera con la teoría de estabilidad y las secciones que conforman el invernadero. Se realizó el análisis estructural con la utilización del software SAP2000 y el diseño de acero laminado en frío según lo definido por el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) para cada uno de los prototipos con lo que se definió la distribución y secciones que presentaron aquel comportamiento que cumple con los requisitos y objetivos propuestos.

Para el sistema de cimentación de los invernaderos se evidencio que no solo es necesario considerar las fuerzas a compresión de la estructura sino también las fuerzas en succión ocasionadas por el poco peso del invernadero y las grandes áreas expuestas a la fuerza del viento.

Se demostró que las combinaciones de carga que generan los valores más altos son aquellas en donde se ve involucrada la fuerza del viento, por lo que es esta fuerza la que gobierna el diseño estructural y hace que no sea necesario acatar las recomendaciones del Código Sísmico de Costa Rica 2012.

Asumiendo una velocidad del viento de 100 km/h se comprobó la resistencia del plástico aproximándola al comportamiento de una catenaria y así verificar que la separación entre apoyos fuese la correcta.

Con la estructura definitiva se evaluaron las cantidades de acero requeridos para cada prototipo, en donde el techo en arco para todos los casos presentó valores menores en comparación con el techo a dos aguas, además también hubo una reducción de la cantidad de acero conforme estos van aumentando su volumen por lo que aquellos invernaderos de mayor tamaño resultan en un menor costo por metro cubico. Se obtuvo una reducción de hasta el 30% en los kilogramos de acero por metro cubico comparando el dimensionamiento de 6m de ancho por 4m de altura a la canoa con respecto al de 9m de ancho por 5m de altura a la canoa.

# Capítulo 1

## Introducción

Esta investigación se basa en el análisis y diseño estructural de invernaderos para las condiciones climáticas de Costa Rica, en la cual se consideran factores de: dimensiones, cargas permanentes, cargas temporales, materiales constructivos tanto para el cerramiento como para la estructura primaria, cimientos requeridos y reglamentación nacional e internacional preferente al diseño de este tipo de estructuras.

### 1. Tema de investigación

Procedimiento de análisis y diseño estructural para invernaderos en acero laminado en frío para Costa Rica.

### 2. Delimitación del problema

Se estudiaron ocho prototipos de invernadero, de los cuales cuatro son con el techo en arco y los restantes son con el techo a dos aguas, para los que se contemplaron los siguientes aspectos:

- a. Dimensionamiento: Se consideraron aspectos climáticos, agronómicos y estructurales.
- b. Solicitaciones: Se investigaron las cargas permanentes, temporales y accidentales a las que se someterá la estructura, así como su metodología de cálculo.
- c. Materiales: El diseño se realizó utilizando hierro galvanizado en las estructuras primarias y para el cerramiento se contemplaron mallas antiáfidos en las ventanas, plástico en paredes y cubierta de techo.
- d. Elementos: Se consideró el sistema de cimentación, los arcos, arriostres y elementos de apoyo para el plástico de paredes, puertas y mallas de ventanas.

- e. Reglamentación: Se consideraron reglamentos nacionales como el: Código Sísmico de Costa Rica 2010 y el Reglamento de Construcciones además normalizaciones internacionales como lo son el Uniform Building Code (IBC-2009), Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos (ASABE), Asociación Nacional de Fabricantes de Invernaderos (NGMA), Cold Formed Steel Desing del AISI, ASCE 7-10 y la Norma Española (UNE-EN 13031-1)
- f. Diseño estructural: Se analizaron esfuerzos, cargas y secciones de los elementos requeridos.

Para efectos demostrativos de la metodología de cálculo, el diseño de los cimientos se trabajó para un solo tipo de suelo ( $S_3$ ), una zona sísmica (III) y se supuso una resistencia admisible de 10 Ton/m<sup>2</sup> a los 85cm con los cuales se idealizó el comportamiento de la estructura.

En lo referente a las uniones entre los elementos de la estructura soportante y a la unión estructura-material de cerramiento, se utilizaron los sistemas ya patentados, no se analizaron estructuralmente ni se consideró el diseño de nuevos tipos de uniones.

No se consideró el uso de otros materiales constructivos como madera, bambú o vidrio, así como tampoco se realizó el análisis de transferencia de calor y masa.

### **3. Justificación**

La agricultura convencional está expuesta a diferentes fenómenos naturales bióticos y abióticos que afectan los rendimientos y calidad de los productos.

Las normas de calidad y las prácticas de producción sostenible se han convertido en requerimientos por parte de los consumidores. Estos requerimientos dificultan la competitividad de los productores tanto en los mercados nacionales como internacionales.

El MAG (2009) señala que la agricultura protegida se ha determinado como potencial generadora de bienestar al facilitar la producción de alimentos y el acatamiento de las disposiciones de muchos de los mercados. Mediante el sistema de ambientes protegidos es

factible asegurar parte del futuro de la agricultura costarricense al estimular el posicionamiento y la competitividad de los productores por las ventajas que brinda.

Entre las ventajas están que favorece la diversificación, aumenta los rendimientos, reduce el riesgo fitosanitario, permite optimizar el uso del agua y de los insumos agroquímicos y se convierte en fuente de empleo más especializado y permanente.

Como todo sistema productivo, debe manejarse bajo los principios técnicos recomendados para que produzca los resultados esperados. Según lo señala Tesi (2001), muchos de los fracasos de cultivos en invernaderos se deben a la falta de conocimiento agronómico y al mal manejo de las condiciones ambientales dentro del invernadero. Para obtener el mejor desempeño es necesario saber valorar los efectos climáticos y administrarlos en función de las exigencias del cultivo, de aquí la importancia de que en el diseño se contemplen todos los aspectos de manera integral.

La tecnología de producción en ambientes protegidos nace en zonas templadas con el objetivo de mantener la producción en épocas de invierno. De esta manera, países como España, Holanda, Francia e Israel toman la vanguardia en el diseño de invernaderos.

De acuerdo con entrevistas y visitas a diferentes proyectos de invernaderos realizadas con el fin de conocer la situación nacional referente a la infraestructura de ambientes protegidos, así como el censo PRONAP 2008, en el país existen básicamente dos tipos de invernaderos. Los de construcción artesanal, con sistemas no validados desde el punto de vista estructural o climático y los industriales, que normalmente cuentan con alto respaldo tecnológico. Los artesanales tratan de implementar diseños realizados para otras latitudes que no cumplen con nuestras condiciones climáticas y topográficas. Tampoco obedecen a un concepto estructural formal. Corresponden a construcciones y soluciones empíricas que deben mejorarse en función de la competitividad de nuestros sistemas productivos.

Gran parte de las áreas productivas de hortalizas y ornamentales de flor y follaje en Costa Rica se encuentran en regiones con topografía quebrada. Los sistemas industriales, independiente de la casa matriz, demandan la nivelación previa del terreno para construir.

Este requerimiento aumenta los costos iniciales, tiene repercusiones ambientales negativas y afecta el flujo de aire natural a través de la instalación, el cual es imprescindible para mantener la temperatura interna en niveles requeridos por la plantación.

Las condiciones climáticas de nuestro país dificultan una producción óptima con la utilización de invernaderos diseñados para países no tropicales, lo que conlleva un incremento en los costos. El efecto de variables como temperaturas, humedad relativa e intensidad de radiación solar en las diferentes etapas del cultivo deben considerarse en los diseños previo a la ejecución de los proyectos.

Durante la realización de este proyecto, se comprobó que existe escasez de información en el país referente al diseño estructural de invernaderos y un alto grado de empirismo por parte de constructores y pequeños productores, aspectos que motivaron la realización de este estudio.

#### **4. Objetivo de la investigación**

Describir una metodología para el análisis y diseño de invernaderos a construir con acero laminado en frío para que se ajusten a las condiciones ambientales e industriales del país.

##### **4.1. Objetivos específicos**

- ✓ Hacer una recopilación de los temas principales del análisis estructural, resistencia de materiales y evacuación de aguas pluviales, así como los códigos nacionales e internacionales que requieran ser considerados en el diseño de estas instalaciones para responder a las condiciones climáticas y topográficas del país.
- ✓ Determinar los tipos de acero y demás materiales para el cerramiento disponibles en el mercado nacional que puedan ser empleados en la fabricación de los diferentes elementos.
- ✓ Realizar el análisis y diseño detallado de instalaciones tipo invernadero a ser construidas en acero para demostrar la metodología propuesta.
- ✓ Diseñar los cimientos requeridos por la estructura según las condiciones de carga y tipo de suelo para asegurar su estabilidad.
- ✓ Investigar el efecto del dimensionamiento en el costo de la estructura para asegurar la competitividad de la instalación

## Capítulo 2

### Recopilación de literatura para el análisis y diseño estructural

#### 1. Etapas de un proyecto estructural

Acuña (2003) se refiere a que durante la realización de un proyecto estructural, se hace necesario seguir una serie de pasos los cuales están estrechamente relacionados entre sí:

##### **Planteamiento**

Consiste en definir la actividad que se va a realizar en función de las posibilidades económicas, técnicas y profesionales. Dentro de esta etapa se pueden tener las siguientes actividades: concepción de la obra, fijación de objetivos y criterios de diseño, consideración de factores sociales, estudio de la financiación, selección del personal técnico, evaluación de alternativas, investigación de aspectos ambientales y estimación de tiempos y rendimientos en mano de obra.

##### **Análisis**

Hace referencia a factores estructurales, agronómicos y ambientales del invernadero, dentro de esta etapa se pueden contemplar las siguientes actividades: selección de materiales estructurales y sus propiedades, evaluación de todas las cargas presentes sobre la estructura, predimensionamiento basado en experiencias, normalización existente, factores climáticos y agronómicos, cálculo de las propiedades de las secciones, idealización estructural mediante diagramas de líneas, idealización de uniones y apoyos, cálculo de fuerzas y desplazamientos.

##### **Diseño**

Hace referencia a la correcta selección de materiales, secciones y dimensiones de los elementos capaces de soportar las fuerzas y desplazamientos encontrados en la etapa anterior. Estas propiedades se dibujan en los planos de construcción de la obra para su posterior análisis financiero.

### **Construcción:**

En esta etapa se tienen los pasos de fabricación de los componentes de la estructura, transporte al lugar de colocación, instalación de la estructura y la inspección final para asegurar el correcto desempeño de la estructura a nivel constructivo.

## **2. Códigos y normas de construcción**

Con el fin de obtener diseños que resulten adecuados a la seguridad estructural se han desarrollado normas, las cuales establecen las reglas para el proyecto y construcción de estructuras de invernaderos mediante regulaciones en el diseño.

Algunas de estas normas son específicas para invernaderos y otras son de carácter general para el diseño y la construcción civil.

Entre las regulaciones costarricenses aplicables al caso de estudio están:

- ✓ Reglamento de Construcciones de Costa Rica.
- ✓ Código Sísmico de Costa Rica 2010.
- ✓ Código de Cimentaciones de Costa Rica.
- ✓ Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

Debido a que en Costa Rica no existe una normalización específica para este tipo de estructuras se hace necesario considerar otras normas internacionales entre las cuales están:

- ✓ Uniform Building Code
- ✓ ASCE (American Society of Civil Engineers)
- ✓ NGMA (National Greenhouses Manufacturers Association)
- ✓ ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)
- ✓ Norma CEN/TC 284 del European Committee for Standardization
- ✓ Norma UNE 76-208-92, Normalización Invernaderos mejores y más seguros.
- ✓ BSI (British Standards Institution)
- ✓ NMX-E-255-CNCP-2008, Normas mexicanas del Centro de Normalización y Certificación de Producto
- ✓ Norma UNE 13031-1, Normativa europea de diseño y montaje de invernaderos
- ✓ AISC (American Institute of Steel Construction)

- ✓ ACI (American Concrete Institute)

### **3. Definición y tipos de estructuras de protección.**

Según CNPC (2006) un invernadero es una estructura de protección a cultivos dotada con una cubierta translúcida la cual optimiza las condiciones climatológicas y la transmisión de radiación solar con el fin de mejorar el entorno del cultivo para aumentar la sanidad, calidad y rendimientos de los productos agrícolas. Se pueden controlar factores como agua, nutrientes, luz, temperatura, humedad relativa y concentraciones de CO<sub>2</sub>.

Según Barquero (2010) los invernaderos se pueden clasificar, según sus características constructivas en:

#### **Parral o Almería**

Es una estructura de tubos rectos principalmente en acero galvanizado y un entramado de alambre, el cual realiza las funciones de refuerzo y fijación del cerramiento, ya sea plástico o malla antiáfidos. Este tipo de estructura se utiliza por lo general en zonas poco lluviosas.

#### ✓ Ventajas:

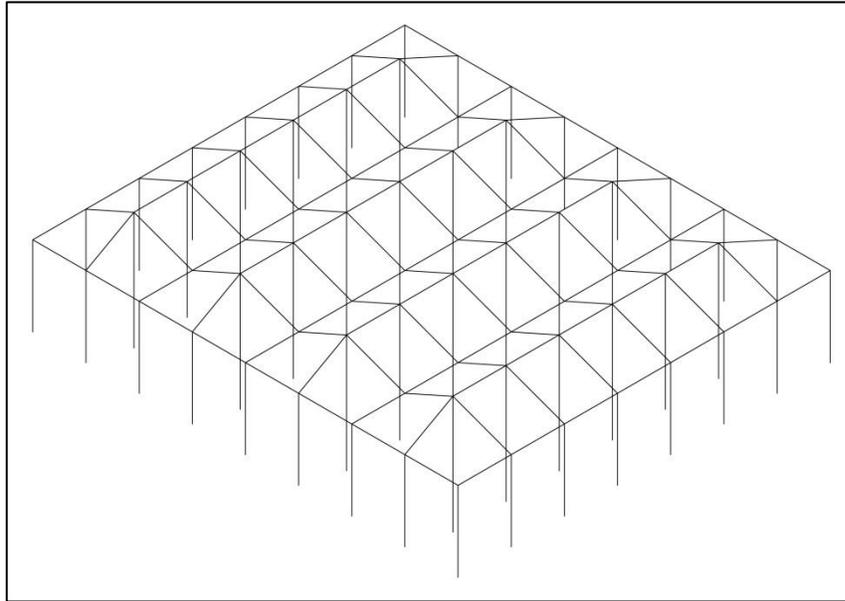
- Son económicos
- Permiten la instalación de ventilación cenital
- Adaptación a la geometría del terreno.

#### ✓ Desventajas:

- Dificultad para el cambio de plástico en la cubierta
- Perdidas de calor a través de la cubierta
- Alberga un reducido volumen de aire
- Rápido envejecimiento de la instalación
- Reducida estanqueidad respecto al agua de lluvia
- Proliferación de enfermedades fúngicas.

Dentro de las estructuras tipo Parral están:

- “Raspa y amagao” (Invernadero Tipo Almería)
- Casasombra



**Figura 2-1: Invernadero tipo Parral o Almería**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

### **Túnel o Multitúnel**

Es una estructura metálica en hierro galvanizado y techumbre curva, por lo general el montaje es tipo mecano, siendo la fijación de las uniones por abrazaderas con tornillería sin tener que realizar ninguna soldadura.

✓ Ventajas:

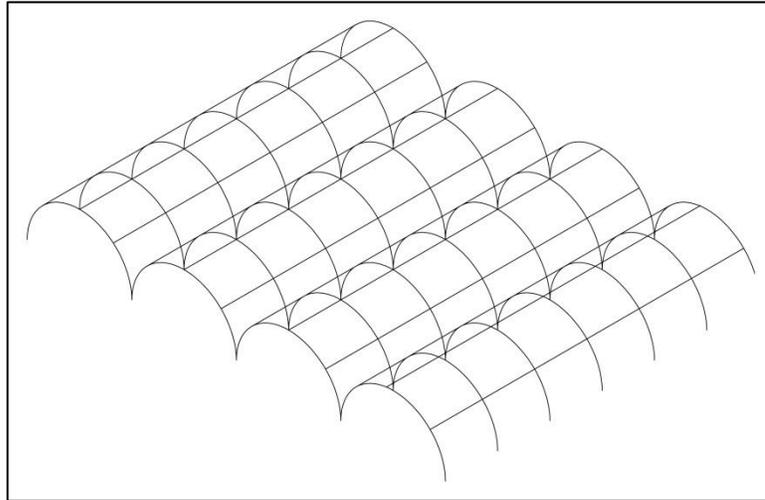
- Se obtiene un mayor volumen de aire en el interior
- Menor número de obstáculos internos
- Se ofrece mayor grado de protección a los cultivos

✓ Desventajas:

- Mayor inversión inicial

La clasificación de este tipo de estructuras es:

- Capilla
- Asimétrico
- Góticos



**Figura 2-2: Invernadero tipo Túnel o Multitúnel**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

## **Cristal**

Es una estructura rígida y pesada, la cual está compuesta en su mayoría por componentes de acero con ciertos componentes de aluminio para la colocación del cristal, generalmente se emplean elementos como vigas o cerchas para reforzar la estructura.

### ✓ Ventajas:

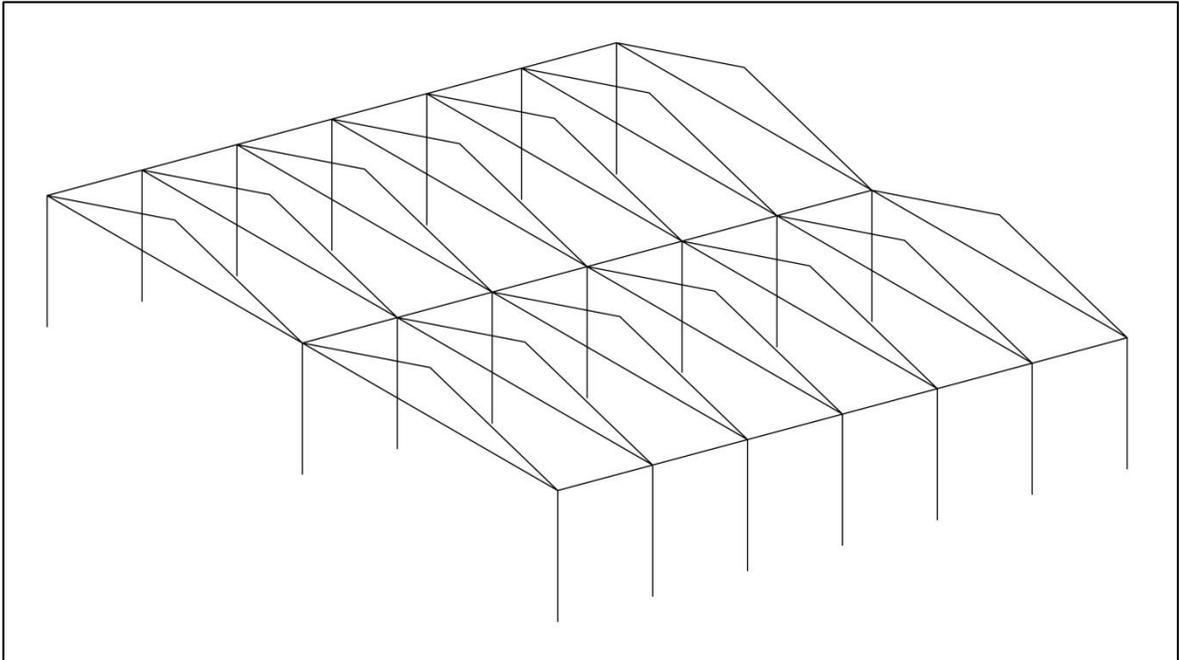
- Excelente comportamiento térmico
- Elevada transmisividad solar de onda corta
- Alta estanqueidad

### ✓ Desventajas:

- Rigidez del cerramiento y una fuerte carga estructural, no permiten grandes dimensiones de superficie construida
- Gran cantidad de material empleado en la construcción
- Altos costos de instalación e inversión.

Para las estructuras tipo cristal se tienen los tipos:

- Venlo
- Wide Span



**Figura 2-3: Invernadero tipo Cristal**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

#### **4. Componentes y sistemas estructurales más usados en invernaderos**

Para estudiar una configuración estructural se realiza un análisis integral, sin embargo todos los sistemas están integrados por componentes, según McCorman (2010) estos elementos son principalmente:

##### **Tirantes**

Son aquellos miembros sometidos únicamente a fuerzas axiales de tensión, en los cuales la carga se aplica únicamente en los extremos y presentan dificultad para resistir fuerzas generadas por flexión.

##### **Puntales**

Son elementos sometidos a fuerzas axiales de compresión, al igual que los tirantes los puntales pueden cargarse solamente por los extremos y tampoco pueden resistir fuerzas generadas por flexión.

### **Vigas y trabes**

Estos componentes se les aplica principalmente fuerzas de flexión, casi siempre son miembros horizontales sometidos principalmente a fuerzas gravitacionales.

### **Columnas**

Estos elementos son principalmente sometidos a fuerzas axiales de compresión, en donde también pueden presentarse fuerzas de flexión. Generalmente estos miembros son verticales.

### **Diafragmas**

Elementos estructurales que actúan como placas rígidas en su plano. Comúnmente usados en pisos y muros de cortante, los cuales tienen la función de transmitir cargas hasta la cimentación.

## **5. Elementos del invernadero y su función**

### **Uniones**

Los miembros individuales de una estructura de acero se ensamblan mediante conexiones y forman una estructura rígida capaz de transferir las cargas hacia la cimentación. Estas conexiones constan de tornillos, soldaduras o pasadores entre otros elementos de conexión.

Según Vinnakota (2006) los elementos de conexión son piezas cortas de secciones angulares, en T o piezas de placas, siendo el propósito de estas conexiones ayudar a transferir las cargas de un miembro de la estructura a otro.

La transferencia de fuerza entre los miembros de una conexión se hace mediante una o más superficies planas llamadas juntas. Estas se clasifican según el tipo de conector utilizado por el método de transferencia de fuerza.

### **Cimentaciones**

Todas las estructuras necesitan transmitir esfuerzos al terreno, por lo tanto cada estructura demandará un diseño de cimentación en donde se contemplara comportamiento del suelo, cargas y funcionalidad de la estructura y sistemas constructivos.

Garza (2000), señala que las cimentaciones se pueden clasificar en dos tipos: las cimentaciones superficiales las cuales son elementos estructurales cuya sección transversal

es de dimensiones mayores que su altura y cuya función es trasladar las cargas de la edificación a profundidades relativamente cortas, menores a 4 metros y las cimentaciones profundas las cuales poseen un sección transversal pequeña en relación con su altura trasladando la cargas al terreno entre una profundidad de 4 a 40 metros.

### **Paredes**

Según Tesi (2001), las paredes constituyen los soportes de las cercas y vigas destinadas a sostener los materiales de cubierta consistentes en bastidores portacristales, redes de plástico o malla.

### **Cerramiento**

Es el elemento principal de la protección de sus características físicas, mecánicas y ópticas dependen en gran parte la condiciones climáticas que se van a producir en el interior del invernadero. Por ello, conviene considerar las características de los materiales utilizados para que estos se adecuen al tipo de cultivo y condiciones climáticas de la zona.

Las diferentes modalidades de fijación de los materiales de cubierta a las estructuras de sostenimiento son de especial importancia en relación con la estabilidad y la hermeticidad del invernadero.

La densidad del material tiene relevancia sobre el peso de la cubierta por lo que puede afectar el cálculo de las estructuras de sostenimiento.

### **Ventanas**

Climatizar un invernadero significar regular las condiciones del clima en el interior del mismo y adoptarlo a las exigencias de la planta durante las fases del ciclo del cultivo, para realizar esto es preciso conocer los diversos elementos del clima, las modificaciones climáticas producidas por la protección y las características de los mecanismos de climatización.

Para Tesi (2010) para conseguir el máximo rendimiento es necesario saber valorar los efectos climáticos sobre el crecimiento de la planta y dirigirlos según un programa que coincida con las exigencias del cultivo utilizado.

Parte de estos controles climáticos es posible conseguirlos haciendo un adecuado uso de la ventilación natural, mediante controles en la apertura y el cierre de las ventanas.

Los tipos de ventanas utilizadas en invernaderos son:

- ✓ Laterales
- ✓ Cenital

Para Tendero (2011) la circulación del aire es indispensable para bajar la temperatura, sacar la humedad y repartir el CO<sub>2</sub>, siendo esto necesario para provocar intercambios suaves entre la temperatura exterior, la interior y la del fruto o planta.

Para el mejor aprovechamiento de las ventilaciones tienen que ser abatibles en el techo o enrollables en el perímetro para aprovechar de manera natural la dirección y fuerza del viento y así propiciar una paulatina y homogénea entrada y salida del aire.

Según Hellickson & Walker (1983) para el intercambio óptimo de aire con ventilación natural, el área de las aperturas deberá ser como mínimo un 15% de área del piso, sin embargo recomiendan un área igual al 30% del área de piso, en donde el tamaño de la apertura cenital y de las laterales debe de ser aproximadamente iguales. Idealmente la ventilación cenital debe abrir debajo de la posición horizontal y con un ángulo máximo de 60°.

La razón del intercambio de aire puede ser lograda con ventilación natural, siendo función de la velocidad, dirección del viento, localización y tamaño de las aperturas.

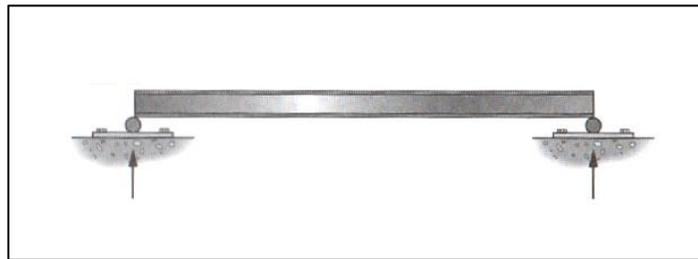
La mayor desventaja de este sistema de ventilación es la dificultad y el costo en sistemas de automatización, sin embargo la mayoría son controlados manualmente lo que requiere la atención continua de un operador.

## **6. Estabilidad estructural**

Antes de conseguir una estructural definitiva es necesario cumplir con dos procesos: el *análisis estructural*, el cual se basa en el cálculo de magnitudes de las fuerzas a las que se encuentra sometida la estructura y las deformaciones que causaron, y el *diseño estructural*, el cual incluye la disposición, el dimensionamiento de las estructuras y de sus componentes.

Para ambos procesos es necesario contar con una estructura estable capaz de soportar de manera adecuada las cargas aplicadas a ella, en donde no solo depende del número de

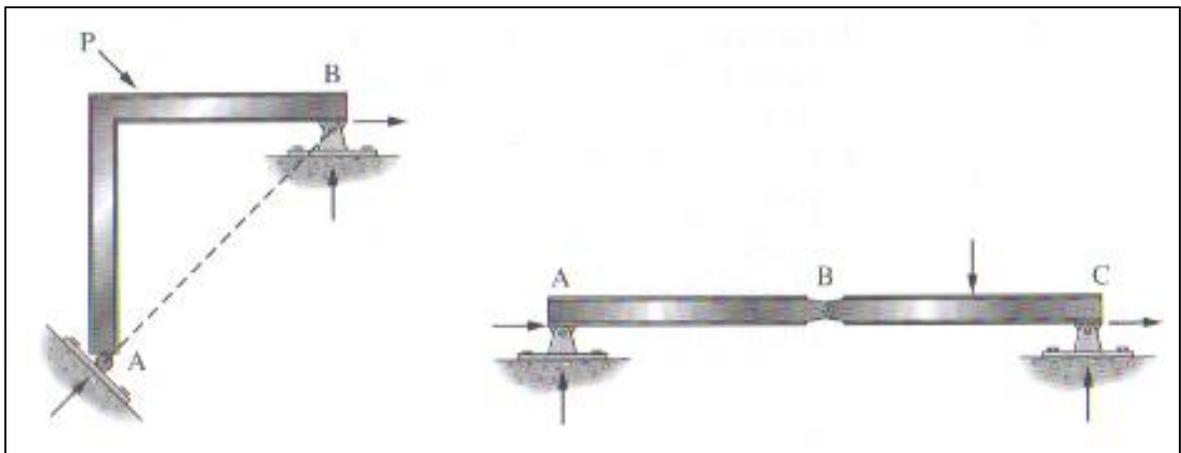
componentes de reacción, sino también de la disposición de éstas. Según McCorman (2010) una estructura puede ser inestable y sin embargo, ser estable bajo cierto conjunto de cargas.



**Figura 2-4: Equilibrio inestable**

Fuente: McCormac (2010)

La figura anterior es un ejemplo, ya que esta estructura esta soportada en sus extremos por rodillos y es inestable. La viga se deslizará si se aplica una fuerza horizontal, sin embargo, puede soportar cargas verticales gravitacionales manteniéndose estable. A esta condición se le denomina equilibrio inestable.



**Figura 2-5: Inestabilidad geométrica (a) izquierda (b) derecha**

Fuente: McCormac (2010)

En el caso de la Figura 2.2 se muestra el caso de una inestabilidad geométrica, ya que para (a) si se analiza el momento en B presenta inestabilidad debido a que la línea de acción de la reacción en A pasa por la reacción en B, en este caso no hay resistencia a la rotación en B.

Para el caso de (b) es otro ejemplo en donde se presenta inestabilidad geométrica ya que se presentará una rotación respecto a la articulación en B.

Según Kiseliiov (1982), el cálculo de la estabilidad revela la capacidad de las estructuras de conservar las posiciones dadas y las formas de equilibrio adquiridas en estado deformado, mientras que el cálculo de la rigidez tiene por objeto proteger las estructuras contra grandes vibraciones y desplazamientos que impiden el uso normal de la estructura.

Para que una estructura no sea inestable es muy importante definir un sistema invariante y saber cómo juzgar sobre la invariabilidad del sistema, para este caso Kiseliiov (1982) define una ecuación que puede ser aplicada para considerar la variabilidad de un sistema.

$$3D >, =, < B + 2A + 3S + V_{ap} \quad (2.6-1)$$

En donde:

D = Número de discos

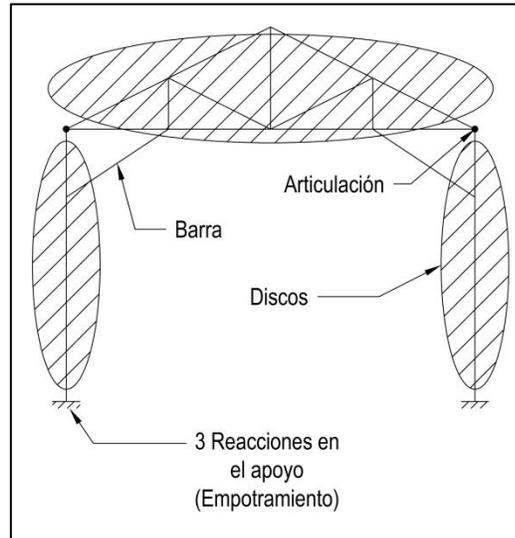
B = Número de barras

A = Número de articulaciones

S = Número de soldaduras

Vap = Número de reacciones de los apoyos de la estructura en el terreno

- a. Para el signo de igualdad o mayor que, el sistema es considerado *variante*.
- b. Para el signo de igualdad, el sistema puede ser considerado *invariante* y el sistema es isoestático.
- c. Para el signo de desigualdad inferior indica el sistema es *invariante* y el sistema es hiperestático.



**Figura 2-6: Estructura invariante hiperestática**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

Si bien es cierto que esta ecuación representa una condición imprescindible pero no es suficiente para determinar la invariabilidad, se hace necesario analizar la estabilidad geométrica para cada caso específico.

## **7. Cargas permanentes, temporales y accidentales.**

Los invernaderos son estructuras livianas, las cuales deben de soportar cargas como: la lluvia, granizo, viento, sismo, peso del personal de mantenimiento y construcción, carga de la materia vegetal, peso propio de la estructura y el plástico, peso de los equipos y mallas o pantallas.

Los daños que se presentan en la estructura se deben a que muchos de los componentes estructurales no están diseñados para soportar estas acciones.

Las cargas necesarias para ser consideradas en el diseño se pueden especificar de la siguiente manera:

### **Cargas permanentes.**

Estas son cargas verticales debido al peso de varios miembros estructurales y de todos los componentes no estructurales que se hallan de manera permanentemente fijos en la estructura. Estas cargas no varían con el tiempo respecto a su posición y peso.

✓ **Carga por peso propio.**

Esta carga se basa en el propio peso de los componentes estructurales y de los materiales de cubierta.

Las cargas de la cubierta según la NGMA (2004) señala que pueden variar entre 1 a 5 kg/m<sup>2</sup> para plástico rígido y el peso de las películas de polietileno se considera como despreciable el cual es de alrededor de 0,5 kg/m<sup>2</sup>, sin embargo esto puede variar dependiendo del espesor del film.

**Cargas temporales**

Estas representan las cargas relacionadas con la construcción, la ocupación, el uso o mantenimiento de la estructura.

Dentro de esta categoría se pueden incluir las cargas relacionadas con el medio ambiente como lo son: el viento, la lluvia y cargas por sismo.

Está compuesta por la carga de la materia vegetal, carga por instalaciones y carga por personal de mantenimiento y construcción.

✓ **Carga de materia vegetal.**

Incluye el peso de ciertos cultivos altos que usan tutores amarrados a la estructura de techo, Acuña (2003) señala que normalmente se considera entre 10 kg/m<sup>2</sup> a 15 kg/m<sup>2</sup>, mientras que la NGMA (2004) recomienda que como mínimo se consideren 10 kg/m<sup>2</sup>. Esta carga se considera como distribuida en la estructura soportante.

✓ **Cargas por instalaciones**

En estas cargas se incluye el peso de instalaciones de servicio como calefacción, ventilación, iluminación, sombreo, pantallas térmicas, motores entre otras las cuales se apoyan a la estructura principal del invernadero mediante elementos de soporte. Según la NGMA (2004) esta carga se puede asumir como 10 kg/m<sup>2</sup>.

✓ **Carga por personal de mantenimiento y construcción**

Para esta carga se consideró el peso de dos operarios apoyados sobre el marco, para los cuales se asume un peso de 90kg por cada operario.

Estas cargas fueron modeladas como una fuerza puntual sobre la estructura.

## **Cargas accidentales**

### ✓ **Carga de viento**

Esta carga se basa en la presión y succión que ejerce el viento sobre la cubierta de la estructura, esta depende de la zona de ubicación y de la altura del invernadero. Las normas adoptan formas diferentes de estimar este valor, dependiendo de los criterios para la zona geográfica que fueron realizadas, para el caso de los invernaderos esta es una de las cargas más significativas, razón por la cual se detalla a continuación uno de los procedimientos a seguir.

En este caso se propone utilizar el método direccional expuesto en el ASCE-7 del año 2010.

Para este método es necesario definir los parámetros generales que son utilizados para calcular las fuerzas de viento para los diferentes prototipos de invernaderos.

Estos son:

- ✓ Velocidad básica del viento: Esto se trata de un ráfaga de tres segundos medida a una altura de 10m, en donde según Patiño (2007) en Costa Rica se tienen velocidades promedios entre los 60km/h a los 110km/h con periodos de retorno de 50 años, para el este caso se consideró una velocidad básica de 100km/h.
- ✓ Clasificación del edificio según el cerramiento: Esta clasificación se basa según el área total de las aberturas, en donde las estructuras se clasifican como: edificios abiertos, parcialmente cerrados y cerrados. Para este caso se estudiaron todas las categorías debido a que en los invernaderos es posible tener las tres situaciones.
- ✓ Edificios de poca altura: Son aquellas edificaciones que cumple con los siguientes requerimientos:
  - La altura promedio del techo  $h$ , es menor de 18m
  - La altura promedio del techo  $h$  no excede la menor dimensión horizontal.

En nuestro caso, los invernaderos analizados entran en esta categoría.

- ✓ Edificios u otros estructuras con forma regular: Aquellas edificaciones que no poseen irregularidades geométricas en forma parcial

- ✓ Edificios u otras estructuras rígidas: Son aquellas construcciones en donde la frecuencia fundamental es mayor o igual a 1Hz.
- ✓ Convención de signos: Una presión positiva significa que el viento actúa hacia la superficie y la presión negativa actúa alejándose de la superficie.
- ✓ Factor de direccionalidad ( $K_d$ ): Este factor es determinado por la tabla 2-1.

**Tabla 2-1: Valores para el factor de direccionalidad**

<b>Tipo de Estructura</b>	<b>Factor de Direccionalidad (<math>K_d</math>)</b>
<i>Edificios</i>	
Sistema principal de resistencia a la fuerza del viento	0,85
Componentes y cerramientos	0,85
Techos arqueados	0,85
<i>Chimeneas, tanques y estructuras similares</i>	
Cuadradas	0,90
Hexagonales	0,95
Redondas	0,95
Muros solidos independientes y signos adjuntos	0,85
Signos abiertos y entramado de malla	0,85
<i>Torres de celosía</i>	
Triangular, cuadrada, rectangular	0,85
Todas las otras secciones transversales	0,95

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 250.

En nuestro caso este valor es de 0,85 para todos los elementos del invernadero.

- ✓ Categorías de rugosidad de la superficie del terreno
  - Rugosidad de superficie B: Áreas urbanas y suburbanas, áreas arboladas y otros terrenos con numerosas y cercanas obstrucciones espaciadas que tienen el tamaño de las viviendas unifamiliares o mayores.
  - Rugosidad de superficie C: Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas que tienen alturas menores a 9m. En esta categoría se incluyen planicies y pastizales.
  - Rugosidad de superficie D: Planicies, áreas sin obstrucciones y superficies del agua. En esta categoría se incluye pisos de barro liso, salinas suaves y superficie de hielo lisas.

En nuestro caso se asume una condición de rugosidad de superficie C.

- ✓ Categorías de exposición de la instalación en el terreno.
  - Exposición B: Para edificios con altura promedio de techo menor o igual a 9m, esta se aplicará cuando la rugosidad de la superficie es definida como rugosidad de superficie B.
  - Exposición C: Esta categoría puede ser aplicada en todos aquellos casos en donde la exposición B y la D no aplican.
  - Exposición D: Se aplicará cuando la rugosidad de la superficie es definida como rugosidad de superficie D.

Para este caso se asumirá una exposición B.

- ✓ Efectos topográficos ( $K_{zt}$ ): Este factor puede ser determinado por medio de la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Factor topográfico

**Escarpado**                      **2-D Cresta o 3-D Eje y de la colina**

Multiplicadores Topográficos para la exposición C

H/L <sub>a</sub>	Factor K <sub>1</sub>			x/L <sub>h</sub>	Factor K <sub>2</sub>		z/L <sub>h</sub>	Factor K <sub>3</sub>		
	2-D Cresta	2-D Acan-tilado	3-D Eje "y" de la colina		2-D Acan-tilado	Todos los demás casos		2-D Cresta	2-D Acan-tilado	3-D Eje "y" de la colina
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 252.

En donde  $K_{zt}$  se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.7-1)$$

Para este caso se asume que el terreno no presenta ninguna situación topográfica en especial por lo tanto  $K_{zt} = 1$ .

- ✓ Factor de efecto de ráfaga (G): Para edificios rígidos u otras estructuras este factor puede ser tomado como 0,85 o calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$G = 0,925 \left( \frac{1 + 1,7g_Q I_{\bar{z}} Q}{1 + 1,7g_v I_{\bar{z}}} \right) \quad (2.7-2)$$

$$I_{\bar{z}} = c \left( \frac{33}{\bar{z}} \right)^{1/6} \quad (2.7-3)$$

Dónde:

$I_{\bar{z}}$  = Intensidad de la Turbulencia a la altura de z

$\bar{z}$  = Es el equivalente a la altura del edificio definida como 0,6h pero no puede ser menor a  $z_{min}$

$g_Q, g_v$  = Son tomados como 3,4

$z_{min}, c$  = Aparecen en la tabla 2-3.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left( \frac{B + h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0,63}}} \quad (2.7-4)$$

B = Dimensión horizontal del edificio medido normal a la dirección del viento

h = Altura promedio del techo del edificio, excepto que la altura del alero que sea utilizado para el ángulo de techo sean menor o igual a 10°.

$$L_{\bar{z}} = l \left( \frac{\bar{z}}{33} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (2.7-5)$$

l,  $\bar{\epsilon}$  = Aparecen en la tabla 2-3

**Tabla 2-3: Constantes de la exposición del terreno**

Exposición	$\alpha$	Zg (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	c	l (ft)	$\ell$ (ft)	Zmin (ft)*
B	7,00	1200,00	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	320,00	1/3,0	30,00
C	9,50	900,00	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	500,00	1/5,0	15,00
D	11,50	700,00	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	650,00	1/8,0	7,00

\*Zmin = Altura minima usada para asegurar que la altura equivalente Z es mayor que 0,6h o Zmin  
 Para edificios con  $h \leq Zmin$ , Z deberá ser tomado como Zmin

En el sistema métrico

Exposición	$\alpha$	Zg (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	c	l (ft)	$\ell$ (m)	Zmin (ft)*
B	7,00	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,50	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,40	1/5,0	4,57
D	11,50	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

\*Zmin = Altura minima usada para asegurar que la altura equivalente Z es mayor que 0,6h o Zmin  
 Para edificios con  $h \leq Zmin$ , Z deberá ser tomado como Zmin

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 256.

- ✓ Coeficiente de presión interna ( $GC_{pi}$ ): Este puede ser determinado en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4: Coeficientes de presión interna**

Clasificación del cerramiento	( $GC_{pi}$ )
Edificios Abiertos	0,00
Edificios Parcialmente Cerrados	+0,55 -0,55
Edificios Cerrados	+0,18 -0,18
Notas:	
1. Signos de más y menos significa que la presión actuado hacia y lejos de las superficies internas, respectivamente	
2. Valores de ( $GC_{pi}$ ) se utilizarán con qz o qh como se especifica	
4. Se consideraran dos casos para determinar la carga critica para la condición adecuada	
(i) Un valor positivo de ( $GC_{pi}$ ) aplicado a todas las superficies internas	
(ii) Un valor negativo de ( $GC_{pi}$ ) aplicado a todas las superficies internas	

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 258.

- ✓ Coeficiente de presión de velocidad ( $K_z$ ,  $K_h$ ): Se basa en la categoría de exposición determinada anteriormente, este coeficiente puede ser determinado por la siguiente tabla.

**Tabla 2-5: Coeficientes de presión de velocidad**

Altura sobre el nivel del suelo, z		Exposición		
ft	(m)	B	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 261.

Este coeficiente también puede ser calculado mediante las siguientes ecuaciones:

- Para edificios con  $4,5m \leq z \leq z_g$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.7-6)$$

- Para edificios con  $z < 4,5m$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{15}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.7-7)$$

Dónde:

$\alpha, z_g$  = Se encuentran en la tabla 2-3.

- ✓ Presión de velocidad ( $q_z$ ): La presión de velocidad es evaluada a la altura  $z$  y debe ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d V^2 \left( \frac{lb}{ft^2} \right) \quad (2.7-8)$$

Dónde:

$K_d$  = Factor de direccionalidad

$K_z$  = Coeficiente de presión de velocidad

$K_{zt}$  = Factor de topografía

$V$  = Velocidad básica del viento (mph)

Para encontrar el valor de  $q_z$  se emplea la ecuación anterior a la altura  $z$ , para el valor de  $q_h$  se utiliza la altura  $h$ , sin embargo para el caso de estudio  $q_z=q_h$ .

- ✓ Presiones de diseño para edificios cerrados y parcialmente cerrados ( $p$ ): Las presiones de diseño pueden ser determinadas por la siguiente ecuación:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (2.7-9)$$

Dónde:

$q, q_i = q_z, q_h$

G = Factor de ráfaga

$C_p$  = Coeficiente de presión externa calculado de las tablas 2.6, 2.7.

$(GC_{pi})$  = Coeficiente de presión interna calculado de la tabla 2.4.

**Tabla 2-6: Coeficientes de presión externa ( $C_p$ ), para edificios cerrados y parcialmente cerrados**

Coeficiente de presión en paredes, $C_p$			
Superficie	L/B	$C_p$	Use con
Pared de Barlovento	Todos los valores	0,8	$q_z$
Pared de Sotavento	0-1	-0,5	$q_h$
	2	-0,3	
	$\geq 4$	-0,2	
Pared Lateral	Todos los valores	-0,7	$q_h$

Coeficientes de presión para techo, $C_p$ , para uso con $q_h$												
Dirección del Viento	Barlovento									Sotavento		
	Angulo, $\Theta$ (grados)									Angulo, $\Theta$ (grados)		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	$\geq 20$
Normal a la cresta para $\Theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*	0,4	0,01 $\Theta$	-0,3	-0,5	-0,6
		-0,18	0,0*	0,2	0,3	0,3	0,4					
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*	0,01 $\Theta$	-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	0,0*	0,2	0,2	0,3	0,4				
	$\geq 1,0$	-1,3**	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0*	0,01 $\Theta$	-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18	0,0*	0,2	0,2	0,3				
Normal a la cresta para $\Theta < 10^\circ$ y paralelo para la cresta para todos los $\Theta$	$\leq 0,5$	Distancia horiz. desde el borde de			$C_p$		* Valor se proporciona para propósitos de interpolación. ** Valor puede reducirse linealmente con el área sobre la que se aplica de la siguiente manera					
		0 to h/2			-0,9, -0,18							
		h/2 a h			-0,9, -0,18							
		h a 2h			-0,5, -0,18							
	$\geq 1,0$	>2h			-0,3, -0,18		Área (ft)		Factor de reducción			
		0 a h/2			-1,3**, -0,18		$\leq 100$ (9,3m <sup>2</sup> )		1,0			
		> h/2			-0,7, -0,18		250 (23,2 m <sup>2</sup> )		0,9			
		> h/2			-0,7, -0,18		$\geq 1000$ (92,9 m <sup>2</sup> )		0,8			

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 264.

**Tabla 2-7: Coeficientes de presión externa (Cp) para techos arqueados**

Condiciones	Relación altura-luz, r	Cp		
		Barlovento, un cuarto	Mitad, un medio	Sotavento, un cuarto
Techo sobre una estructura	$0 < r < 0,2$	-0,9	-0,7 - r	-0,5
	$0,2 \leq r < 0,3^*$	$1,5r - 0,3$	-0,7 - r	-0,5
	$0,3 \leq r \leq 0,6$	$2,75r - 0,7$	-0,7 - r	-0,5
Techo saliendo desde el suelo	$3 < r < 0,2$	$1,4r$	-0,7 - r	-0,5
* Cuando la relación altura-luz es $0,2 \leq r \leq 0,3$ , coeficientes alternativos dados por $6r - 2,1$ deberán también ser considerados para el barlovento				

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 266.

- ✓ Presión de diseño para edificios abiertos (p): Para este tipo de edificios se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$p = q_h G C_N \quad (2.7-10)$$

Dónde:

$q_h$  = Presión de velocidad evaluada en h

G = Factor de ráfaga

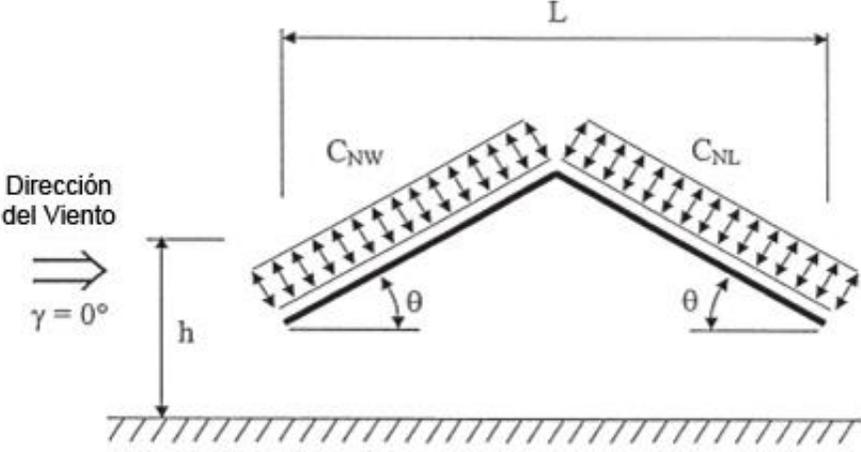
$C_N$  = Coeficiente de presión neta, obtenido de las tablas 2.8, 2.9, 2.10, 2.11

Tabla 2-8: Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ )

Ángulo de Techo, $\theta$	Caso de Carga	Dirección del Viento, $\gamma = 0^\circ$				Dirección del Viento, $\gamma = 180^\circ$			
		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obstruido		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obstruido	
		$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$
$0^\circ$	A	1,2	0,3	-0,5	-1,2	1,2	0,3	-0,5	-1,2
	B	-1,1	-0,1	-1,1	-0,6	-1,1	-0,1	-1,1	-0,6
$7,5^\circ$	A	-0,6	-1	-1	-1,5	0,9	1,5	-0,2	-1,2
	B	-1,4	0	-1,7	-0,8	1,6	0,3	0,8	-0,3
$15^\circ$	A	-0,9	-1,3	-1,1	-1,5	1,3	1,6	0,4	-1,1
	B	-1,9	0	-2,1	-0,6	1,8	0,6	1,2	-0,3
$22,5^\circ$	A	-1,5	-1,6	-1,5	-1,7	1,7	1,8	0,5	-1
	B	-2,4	-0,3	-2,3	-0,9	2,2	0,7	1,3	0
$30^\circ$	A	-1,8	-1,8	-1,5	-1,8	2,1	2,1	0,6	-1
	B	-2,5	-0,5	-2,3	-1,1	2,6	1	1,6	0,1
$37,5^\circ$	A	-1,8	-1,8	-1,5	-1,8	2,1	2,2	0,7	-0,9
	B	-2,4	-0,6	-2,2	-1,1	2,7	1,1	1,9	0,3
$45^\circ$	A	-1,6	-1,8	-1,3	-1,8	2,2	2,5	0,8	-0,9
	B	-2,3	-0,7	-1,9	-1,2	2,6	1,4	2,1	0,4

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 267.

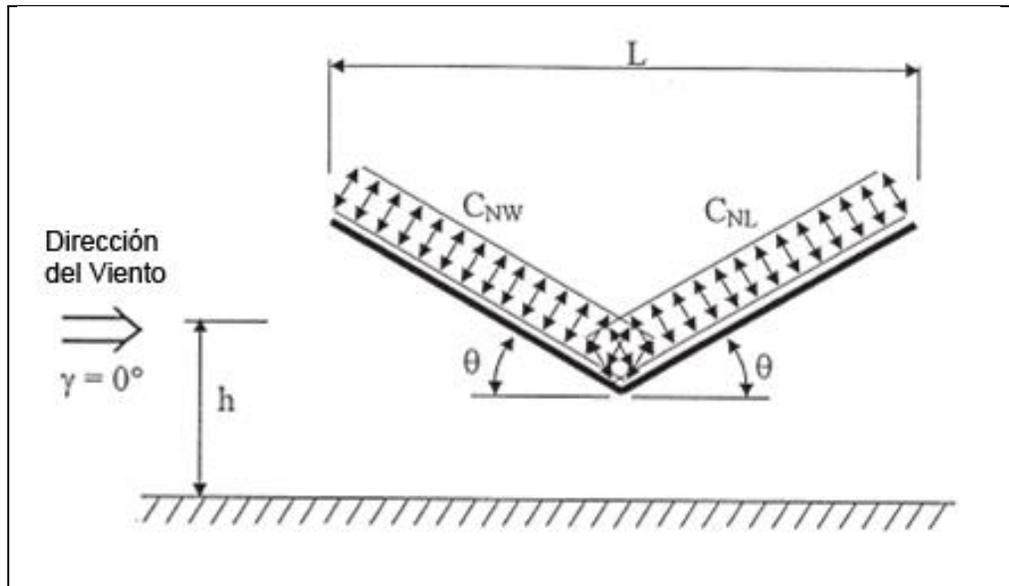
Tabla 2-9: Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ )



Ángulo de Techo, $\theta$	Caso de Carga	Dirección del Viento, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obs-truido	
		$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$
7,5°	A	1,1	-0,3	-1,6	-1
	B	0,2	-1,2	-0,9	-1,7
15°	A	1,1	-0,4	-1,2	-1
	B	0,1	-1,1	-0,6	-1,6
22,5°	A	1,1	0,1	-1,2	-1,2
	B	-0,1	-0,8	-0,8	-1,7
30°	A	1,3	0,3	-0,7	-0,7
	B	-0,1	-0,9	-0,2	-1,1
37,5°	A	1,3	0,6	-0,6	-0,6
	B	-0,2	-0,6	-0,3	-0,9
45°	A	1,1	0,9	-0,5	-0,5
	B	-0,3	-0,5	-0,3	-0,7

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 268.

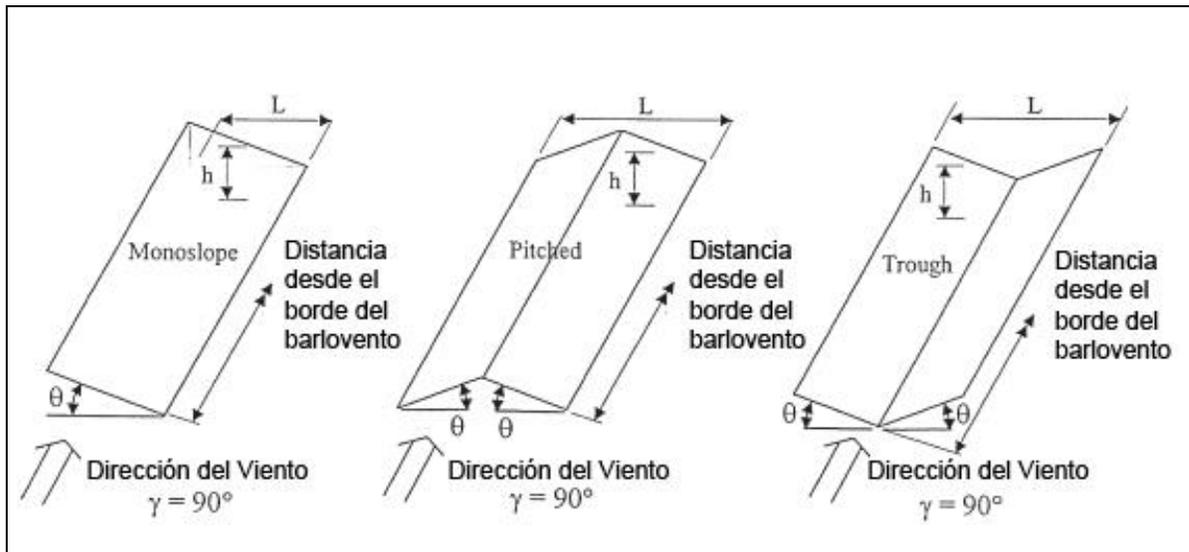
Tabla 2-10: Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ )



Ángulo de Techo, $\theta$	Caso de Carga	Dirección del Viento, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Flujo de Viento Libre		Flujo de Viento Obs-truido	
		$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$
7,5°	A	-1,1	0,3	-1,6	-0,5
	B	-0,2	1,2	-0,9	-0,8
15°	A	-1,1	0,4	-1,2	-0,5
	B	0,1	1,1	-0,6	-0,8
22,5°	A	-1,1	-0,1	-1,2	-0,6
	B	-0,1	0,8	-0,8	-0,8
30°	A	-1,3	-0,3	-1,4	-0,4
	B	-0,1	0,9	-0,2	-0,5
37,5°	A	-1,3	-0,6	-1,4	-0,3
	B	0,2	0,6	-0,3	-0,4
45°	A	-1,1	-0,9	-1,2	-0,3
	B	0,3	0,5	-0,3	-0,4

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 269.

Tabla 2-11: Coeficiente de presión neta para edificios abiertos ( $C_n$ )



Distancia Horizontal desde el borde del barlovento	Ángulo de Techo, $\theta$	Caso de Carga	Flujo de Viento Libre	Flujo de Viento Obstruido
			$C_N$	$C_N$
$\leq h$	Todas las formas	A	-0,8	-1,2
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,8	0,5
$> h, \leq 2h$	Todas las formas	A	-0,6	-0,9
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,5	0,5
$> 2h$	Todas las formas	A	-0,3	-0,6
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,3	0,3

Fuente: Traducido del ASCE-7 (2010) pág. 270.

### ✓ Carga sísmica

Esta carga considera la aceleración que provocan las ondas sísmicas sobre la estructura, al igual que las cargas de viento y lluvia, está relacionada con factores ambientales y como tales dependen del lugar geográfico donde se va a construir y deben ser calculadas para cada sitio en específico. Para determinar esta carga se siguió el procedimiento descrito en el Código Sismo de Costa Rica 2010.

- ✓ Zonificación sísmica: Según el CSCR-2010 el país se divide en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas zonas II, III y IV.

La mayor parte del país se encuentra en la zona sísmica III, por lo tanto se asume esta zona para el cálculo de la fuerza sísmica.

- ✓ Sitios de cimentación: Es el lugar de emplazamiento de una edificación para efecto de considerar la condiciones dinámicas del sitio en la demanda sísmica, estos se clasifican en:
  - Sitio tipo  $S_1$ : Un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca.
  - Sitio tipo  $S_2$ : Un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido.
  - Sitio tipo  $S_3$ : Un perfil de suelo con 6 a 12m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.
  - Sitio tipo  $S_4$ : Un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12m de arcilla suave.

Para este caso se supuso que se tiene un sitio tipo  $S_3$ .

- ✓ Aceleración pico efectiva ( $a_{ef}$ ): Con base en la zonificación sísmica y el sitio de cimentación se establecen los valores de aceleración pico efectivo de diseño como parámetro indicador de la sacudida sísmica.

**Tabla 2-12: Aceleración pico efectiva de diseño**

Tipo de Sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
$S_1$	0,20	0,30	0,40
$S_2$	0,24	0,33	0,40
$S_3$	0,28	0,36	0,44
$S_4$	0,34	0,36	0,36

Fuente: CSCR (2010) pág. 2/7.

Considerando un sitio tipo  $S_3$  y una zona sísmica III, se tiene una aceleración pico efectiva de 0,36.

- ✓ Clasificación de las edificaciones según su importancia: Toda edificación debe ser clasificada según la importancia de su ocupación. A cada grupo le corresponde un factor de importancia I. Para el caso de un invernadero, entra dentro de la clasificación de edificaciones misceláneas por lo tanto tiene un factor de importancia de 0,75.
- ✓ Clasificación de los sistemas estructurales: Esta clasificación se realiza según sus propiedades geométricas, físicas y estructurales.

La clasificación que contiene los invernaderos propuestos es el *tipo dual* en donde se incluyen aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismoresistentes construidos por marcos de concreto reforzado, acero o madera y muros de concreto o de mampostería reforzada, marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera. También se incluyen dentro de este tipo los sistemas sismoresistentes construidos por marcos parcialmente arriostrados, solos o en combinación. Estos sistemas están vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel.

- ✓ Ductilidad global asignada: La ductilidad global asignada corresponde a la ductilidad máxima a utilizar en el análisis y diseño de la edificación.

**Tabla 2-13: Sistema estructural tipo dual**

Tipo	Regular	Irregular moderado	Ductilidad local optima	Ductilidad local moderada	Ductilidad Global Asignada
dual a	x		x		4,0
dual b	x			x	3,0
dual c		x	x		3,0
dual d		x		x	2,0

Fuente: CSCR (2010) pág. 4/11.

En nuestro caso se presenta una ductilidad global asignada  $\mu=3$ . Siendo un marco dual regular y con ductilidad local moderada.

- ✓ Estimación del periodo del primer modo de vibración: Para calcular inicialmente el coeficiente sísmico C, se puede suponer un periodo de vibración dado por:
  - $T = 0,12N$ , para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de acero.
  - $T = 0,10N$ , para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de concreto.
  - $T = 0,08N$ , para edificios tipo dual con sistemas duales de marcos y muros estructurales, muros arriostrados o muros de mampostería.
  - $T = 0,05N$ , para edificios tipo muro formados, exclusivamente, por muros estructurales o marcos arriostrados.

Dónde:

$T$  = Periodo fundamental (en segundos)

$N$  = Número total de pisos

En este caso se tiene que  $T=0,08$  con  $N=1$ .

- ✓ Factor de sobrerresistencia (SR): La sobrerresistencia es igual a 2 para estructuras tipo marco, dual y muro, e igual a 1,2 para estructuras tipo voladizo y otros.
- ✓ Factor espectral dinámico (FED): Es un factor que modifica la aceleración de un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración pico efectivo de diseño. Es función de la zona sísmica, del sitio de cimentación, de la ductilidad global asignada al sistema estructural, de su periodo de vibración y de su amortiguamiento.

Con un  $T= 0,08$ , zona sísmica III y un sitio tipo  $S_3$ , se tiene un FED de 1,079.

- ✓ Coeficiente sísmico (C): Este coeficiente se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$C = \frac{a_{ef} I FED}{SR} \quad (2.7-11)$$

Dónde:

$a_{ef}$  = aceleración pico efectivo de diseño en la base de la estructura.

I = Factor de importancia de la edificación

FED = Factor espectral dinámico

SR = Factor de sobrerresistencia igual a 2.

En este caso el coeficiente sísmico es igual a  $C=0,1457$ .

- ✓ Cortante en la base (V): Para el análisis se aplica una fuerza sísmica horizontal en cada dirección ortogonal cuyo valor se calcula mediante la siguiente formula:

$$V = CW \quad (2.7-12)$$

Dónde:

V = Cortante en la base o sumatoria de todas las fuerzas sísmicas horizontales en cada dirección ortogonal.

C = Coeficiente sísmico.

$W = \sum_{i=1}^N W_i$ , peso total de la edificación para efectos sísmicos

$W_i$  = Peso asignado al nivel i

N = Número total de pisos del edificio.

- ✓ Distribución de fuerzas sísmicas por nivel: La distribución de las fuerzas sísmicas por nivel está dada por la ecuación:

$$F_i = V \frac{W_i h_i}{\sum_{k=1}^N W_k h_k} \quad (2.7-13)$$

Dónde:

$F_i$  = Fuerza sísmica aplicada al nivel i.

V = Cortante en la base.

$h_i$  = altura del nivel i sobre el nivel de base.

- ✓ Calculo de desplazamientos y derivas: Cuando se utilice el método estático o el dinámico, los desplazamientos horizontales en cada nivel y las derivas,

o desplazamientos relativos entre niveles adyacentes, se deben estimar por medio de las siguientes expresiones:

$$\delta_i = \alpha \mu SR \delta_i^e \quad (2.7-14)$$

$$\Delta_i = \mu SR \Delta_i^e \quad (2.7-15)$$

Dónde:

$\delta_i$  = Desplazamiento inelástico absoluto horizontal del nivel i.

$\Delta_i$  = Deriva inelástica o desplazamiento inelástico relativo horizontal entre el nivel i y el nivel adyacente inferior.

$\alpha$  = Factor de desplazamiento inelástico, para edificios de un piso  $\alpha = 1,0$ .

$\mu$  = Ductilidad global asignada.

SR = Factor de sobrerresistencia.

$\delta_i^e$ ,  $\Delta_i^e$  = Desplazamiento elástico absoluto del nivel i y deriva elástica entre el nivel i y el nivel adyacente inferior respectivamente.

Estos desplazamientos son los que señala el CSCR – 2010, los cuales son utilizados cuando el diseño está gobernado por fuerzas sísmicas. Debido a que en Costa Rica no existe un código de viento se utilizó este método para evaluar los desplazamientos.

- ✓ Recalculo del periodo del primer modo de vibración: Con los desplazamientos calculados se debe recalcular el periodo con base en la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1 \sum_{i=1}^N W_i (\delta_i^e)^2}{g \sum_{i=1}^N F_i \delta_i^e}} \quad (2.7-16)$$

Dónde:

$\delta_i^e$  = Desplazamiento elástico en el nivel i debido a las fuerzas sísmicas horizontales.

g = Aceleración de la gravedad.

### ✓ **Carga de lluvia**

En estas cargas se considera la presión hidrostática que puede ejercer el agua sobre la estructura, debido a que estas cargas varían con la situación geográfica la estructura debe ser diseñada específicamente para soportar las cargas ambientales prescritas en el lugar donde se va a construir. Debido a la pendiente del techo es alta, no se forma una lámina de agua que represente cargas significativas a la estructura, además de ser menor que las cargas temporales o la de viento por lo que no es necesario considerarla.

## **8. Materiales**

### **Acero**

Según Ugalde (2008) el acero es una aleación metálica, fabricada a base de hierro principalmente y pequeñas proporciones de otros elementos como carbono, manganeso, fósforo y azufre. Estos últimos componentes, pese a su pequeña proporción al combinarse con el hierro dan al compuesto resultante características idóneas para su uso como material de construcción. El acero es un material homogéneo por lo que presenta un comportamiento isótropo.

#### **a. Composición química**

Para Smith (1998) el acero ordinario son aleaciones de hierro y carbono hasta aproximadamente un 1,2% de carbono, sin embargo la mayoría de los aceros contienen menos de un 0,5% de carbono. La mayoría del acero se obtiene mediante la oxidación del carbón y otras impurezas del arrabio hasta que el contenido de carbono del hierro se reduce al nivel requerido.

#### **b. Propiedades físicas y mecánicas**

En el diseño en acero es necesario tener presentes las siguientes propiedades:

##### ✓ **Limite elástico**

Es el punto en donde el acero se comporta linealmente, siendo las deformaciones proporcionales a los esfuerzos. Vinnakota (2006) señala que es el límite en el cual en presencia de una carga, los enlaces entre los átomos del acero se dilatan provocando un

estiramiento, sin embargo se produce una recuperación total de las dimensiones del elemento una vez retirada la fuerza.

Beer, Russell y DeWolf (2007) mencionan que cuando este límite es superado se generan deformaciones permanentes en el material, también conocidas como deformaciones plásticas.

✓ Módulo de elasticidad

También conocido como Módulo de Young, el cual Vinnakota (2006) lo define como la razón entre el esfuerzo y la deformación de un material en la región elástica del diagrama de esfuerzo-deformación.

Este módulo es una medida de la rigidez del material en la zona elástica y se relaciona con la fuerza de atracción entre los átomos, por lo que para los aceros estructurales este valor varía difícilmente y es prácticamente constante ya que su composición es prácticamente la misma.

✓ Ductilidad

Esta es la capacidad de un material para ser sometido a deformaciones inelásticas sin llegar a la falla. Según Ugalde (2008) esta es una cualidad importante ante sollicitaciones sísmicas, pues no solo alerta de la falla sino que permite una disipación de la energía.

✓ Razón de Poisson

Cuando un cuerpo se somete a una carga de tensión, éste no solo se deforma longitudinalmente sino que a la vez experimenta deformaciones transversales para poder mantener su volumen constante. Vinnakota (2006) la define como la relación entre las deformaciones en las direcciones transversal y longitudinal. Para el acero, al ser un material homogéneo, éste valor es alrededor de 0,3 en el rango elástico y de 0,5 en el rango plástico.

**c. Ventajas y desventajas del acero**

Como material estructural tiene diversas cualidades que lo hacen deseable y otras que pueden ser vistas como negativas, entre las que se pueden mencionar:

### ✓ **Ventajas**

Entre algunas de las ventajas que presenta el acero como material constructivo son:

**Alta resistencia:** Según Ugalde (2008), el acero en relación con su peso cuenta con gran resistencia, siendo esto de gran importancia en estructuras con grandes luces, en suelos poco competentes y en estructuras de gran altura.

**Uniformidad:** Este es un material homogéneo e isotrópico, siendo fabricado con estrictos controles de calidad, además de que la variación de sus propiedades con el tiempo son muy pocas en comparación con otros materiales constructivos.

**Ductilidad:** Debido a esta cualidad, el acero es capaz de resistir grandes deformaciones a niveles altos de esfuerzo sin romperse, lo que resulta conveniente ante movimientos sísmicos y otras cargas ya que disipa la energía de manera plástica e incluso después del límite elástico es capaz de continuar resistiendo cargas.

**Durabilidad:** Con el adecuado mantenimiento este material es capaz de tener una larga vida útil.

**Facilidades constructivas:** Presenta facilidad en uniones mediante soldadura o con pernos, hay gran variedad de elementos prefabricados, amplia gama de formas, tamaños y grandes ventajas en cuanto a la rapidez de ejecución de los proyectos, lo que representa una reducción en los costos de una obra.

**Flexibilidad:** Este material tiene una gran flexibilidad, lo que le permite llevar a cabo alteraciones o extensiones futuras a la estructura así como llevar a cabo reparaciones fácil y rápidamente además pueden desmantelarse y volverse a ensamblar con facilidad en diferentes ubicaciones.

### ✓ **Desventajas**

**Alto costo de mantenimiento:** Este material es susceptible a la corrosión por agua y otros agentes químicos, lo que hace que las labores de mantenimiento sean de vital importancia para conservar la integridad de la estructura mediante la aplicación de pintura anticorrosiva o el reemplazo de piezas corroídas representando una importante inversión de capital en este aspecto comparado con otros materiales. Una alternativa en este aspecto es la

aplicación de galvanizado, elevando costos iniciales pero disminuyendo el costo de mantenimiento.

Baja resistencia al fuego: A temperaturas elevadas pierde gran parte de su capacidad de resistencia y rigidez, siendo esto un inconveniente en el caso de incendios.

Puede presentar fractura frágil: Según Vinnakota (2006) bajo ciertas circunstancias como bajas temperaturas, niveles de esfuerzo de tensión y restricción de la unión puede presentarse la fractura frágil, la cual tiene lugar con poca o ninguna deformación, se desarrolla a muy alta velocidad y con frecuencia produce una falla catastrófica.

Susceptibilidad al pandeo: Debido a la alta resistencia del acero por unidad de volumen se han fabricado secciones de bajo espesor lo que las hace esbeltas y susceptibles al pandeo global y local.

Problemas de fatiga: La resistencia del acero puede verse disminuida si está sometida a numerosos ciclos alternos de esfuerzos, lo que representa un problema serio en estructuras con cargas en constante movimiento.

Dependencia del mercado internacional: En Costa Rica no se produce acero sino este es importado, lo que ocasiona que la disponibilidad de perfiles y grados de acero no siempre esté garantizada, además ocasiona fluctuaciones en los precios.

#### **d. Galvanizado**

Vinnakota (2006) menciona que el galvanizado es un recubrimiento de la estructura con zinc fundido de manera que se crea un enlace metalúrgico con el metal desnudo y el sistema resultante puede brindar una larga vida antes de que se requiera mantenimiento.

El periodo de vida de la protección está en función del espesor de la capa de zinc y la corrosión que sufre el zinc en ambientes no industriales es alrededor de 1/15 a 1/20 parte de la del acero por lo que podría esperarse un promedio de 20 a 25 años de vida de las películas con un espesor de 75 a 100 micras. Para ambientes industriales, la corrosión aumenta entre 1/5 a 1/10 parte de la del acero dependiendo de la cantidad de azufre en el ambiente por lo que podría esperarse una vida útil de cinco a seis años.

**Tabla 2-14: Tubería estructural cuadrada de hierro galvanizado**

Sección		Largo (m)	d (cm)	t (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Fy (MPa)	Ix=Iy (cm <sup>4</sup> )	Sx=Sy (cm <sup>3</sup> )	rx = ry (cm)	Acabado (kg/unid)
Dimensiones (mm)	Espesor (mm)									H.G.
50x50	1,2	6,0	5,0	0,1	2,3	0,0	8,9	3,6	2,0	11,3
50x50	1,5	6,0	5,0	0,2	2,8	0,0	10,8	4,3	2,0	14,1
50x50	1,8	6,0	5,0	0,2	3,3	0,0	12,6	5,0	1,9	16,9
72x72	1,2	6,0	7,2	0,1	3,3	0,0	27,6	7,7	2,9	16,2
72x72	1,5	6,0	7,2	0,2	4,1	0,0	33,8	9,4	2,9	20,2
72x72	1,8	6,0	7,2	0,2	4,9	0,0	39,8	11,0	2,8	24,1
91x91	1,5	6,0	9,1	0,2	5,3	0,0	72,1	15,7	3,7	25,2
91x91	1,8	6,0	9,1	0,2	6,4	0,0	85,2	18,5	3,7	30,2
100x100	1,5	6,0	10,0	0,2	5,8	227,0	93,2	18,6	4,4	27,4
100x100	1,8	6,0	10,0	0,2	6,9	227,0	110,2	22,0	4,0	33,3

Fuente: www.metalco.net

**Tabla 2-15: Tubería redonda para malla en hierro galvanizado**

Sección		Largo (m)	Peso (kg/unid)
Dimensiones (mm)	Espesor (mm)		
12	1,500	6,000	4,620
19	1,500	6,000	5,760
25	1,500	6,000	7,320
31	1,500	6,000	9,310
38	1,500	6,000	10,720
50	1,500	6,000	13,280
63	1,500	6,000	16,120
75	1,500	6,000	19,530
100	1,500	6,000	25,210
25	1,800	6,000	8,750
31	1,800	6,000	11,130
38	1,800	6,000	12,660
50	1,800	6,000	15,890
63	1,800	6,000	19,290
75	1,800	6,000	23,370
100	1,800	6,000	30,170

Fuente: www.metalco.net

## **Materiales para cubierta**

Constituyen el elemento fundamental de la protección del ambiente, condicionando el tipo de estructura así como la forma y las dimensiones. De sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas van a depender las condiciones climáticas que se produzcan en el interior del invernadero.

Según Tesi (2001) las cubiertas además de protección contra elementos meteorológicos, determinan variaciones en la luminosidad, temperatura, humedad y concentración de anhídrido carbónico, a través de acciones de absorción y reflexión de las radiaciones luminosas y de aislamiento exterior.

Es importante señalar que los sistemas de fijación de los materiales de cerramiento a la estructura de soporte son de gran importancia en la estabilidad y la hermeticidad del invernadero.

En cuanto a las cubiertas de plástico se podrían clasificar en dos tipos: los plásticos rígidos y los flexibles.

### **a. Láminas rígidas**

Se encuentran láminas planas u onduladas de diversos materiales como: PVC, polimetacrilato de metilo, poliéster estratificado y policarbonato alveolar. Pueden ser transparentes o translucidos reforzados con fibra de vidrio, filamento de nylon o con retículos metálicos.

### **b. Películas de plástico flexible**

Actualmente es el tipo de cubierta más utilizado debido a sus bajos costos, practicidad y gran variedad de opciones disponibles en el mercado.

Entre los materiales más comunes en la fabricación de estos plásticos están: polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC) y el etilenvinilacetato (EVA), también se producen films flexibles reforzados con nylon y rayón. Actualmente es el PE de baja densidad el polímero más difundido a causa de su precio reducido y fácil colocación debido a su baja elasticidad a pesar del menor efecto invernadero con respecto a otros materiales.

### **c. Propiedades mecánicas de las cubiertas flexibles**

Según el Laboratorio de Polímeros de la Universidad Nacional de Costa Rica los principales análisis realizados a los plásticos para determinar sus propiedades mecánicas son:

#### **Análisis mecánicos tensión-deformación (según normas ASTM D-638M y D-882).**

Resistencia a la tensión: Es la máxima fuerza por unidad de superficie que puede soportar el material al ser estirado antes de romperse. Su valor se mide en MPa.

Elongación: Es el máximo estiramiento desde ambos extremos que puede soportar el material antes de romperse. Su valor se mide en porcentaje

#### **Resistencia al rasgado (Elmendorf, según norma ASTM D-1922).**

Es la fuerza que se necesita para propagar el rasgado a partir de un corte inicial definido o practicado en el material. Su valor se mide en gr/mm.

#### **Resistencia al dardo en caída libre (según normas ASTM D-1709 y D-4272).**

Resistencia al impacto: Es la capacidad del material a absorber un golpe o impacto sin romperse. Su valor se mide en gramos.

**Tabla 2-16: Principales propiedades mecánicas de los plásticos**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Norma</b>
Espesor	180	micras	ISO 4591
	720	galgas	ISO 4591
Esfuerzo de tracción a la Rotura			
MD	23	MPa	EN ISO 527-3
TD	22	MPa	EN ISO 527-3
Deformación en Tracción a la Rotura			
MD	630	%	EN ISO 527-3
TD	840	%	EN ISO 527-3
Esfuerzo de tracción a la Fluencia			
MD	10	MPa	EN ISO 527-3
TD	10	MPa	EN ISO 527-3
Ensayo de Fluencia			
MD	5	%	EN 13206
Resistencia al Rasgado			
MD	8,5	N	ASTM D-1922
TD	13	N	ASTM D-1922
Ensayo de Caída de Dardo F50			
Cara	700	cN	ISO 7765-1
Pliegue	530	cN	ISO 7765-1

Fuente: [www.sotrafa.com](http://www.sotrafa.com)

MD = Dirección principal o de máquina.

TD = Dirección transversal.

1 Galga = 0,25  $\mu\text{m}$  (Unidad utilizada para medir espesores muy delgados)

Los valores de estas propiedades pueden presentar variaciones dependiendo del tipo de cubierta y del fabricante.

En lo referente a las propiedades ópticas del material de cerramiento, debe ser seleccionado dependiendo de las condiciones climáticas y de los requerimientos de determinado cultivo para obtener así los mayores beneficios.

Tesi (2001) señala que entre los diferentes plásticos es necesario escoger aquellos que mantienen una elevada transmisibilidad al espectro visible para asegurar la activación fotosintética de las plantas, así como una elevada rigidez para asegurar un buen comportamiento ante la lluvia, esto para evitar la formación de bolsas y posibles rupturas.

Entre los inconvenientes que se pueden encontrar están, la pérdida de transparencia a causa de la captura exterior de polvo, smog, formación de algas y condensaciones. La

degradación hace que la vida útil de los plásticos se considere entre dos y tres años, siendo la resistencia al envejecimiento una propiedad determinante la cual depende de la naturaleza del material así como de los aditivos empleados.

La fijación de los plásticos a la estructura puede hacerse de diversas formas, sin embargo es necesario que estas se realicen de manera continua para evitar que el plástico sufra esfuerzos fuertes en los puntos de fijación a causa de la escasa resistencia.

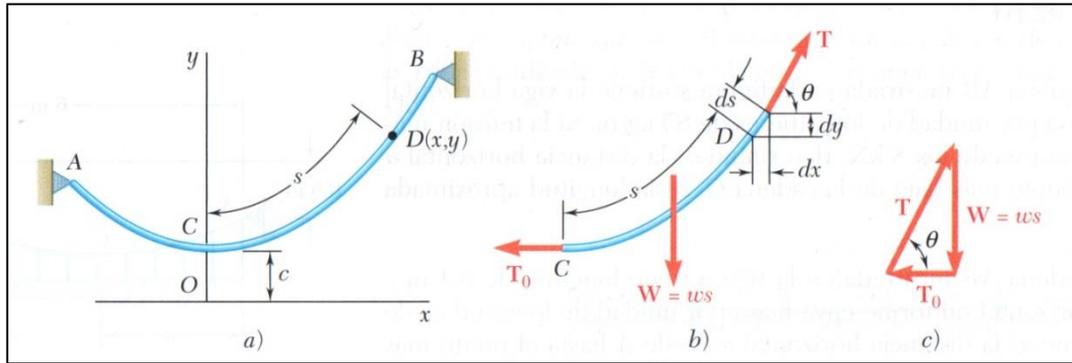
La tensión de la cubierta debe ser regulada ya que las variaciones de la temperatura y acción de agentes atmosféricos provocan que el material sufra estiramientos que favorecen la ruptura o deformaciones.

### **Resistencia del plástico.**

Es importante saber si el material de cerramiento es capaz de resistir las fuerzas a las está sometido, las cuales son principalmente la presión ejercida por el viento.

Una manera de idealizar este comportamiento es mediante la catenaria, la cual es un modelo matemático que describe una curva que adopta una cuerda perfectamente flexible, con masa distribuida uniformemente por unidad de longitud suspendida de sus extremos.

Según Beer & Johnston (2007) se considera un cable AB que soporta una carga uniformemente distribuida a lo largo del mismo cable. La carga por unidad de longitud se representa como  $w$ , la magnitud de  $W$  representa la carga total soportada por un tramo del cable de longitud  $s$ , el cual se extiende desde el punto más bajo C hasta un punto D y esta expresada por  $W=ws$ .



**Figura 2-7: Descripción de la catenaria**

Fuente: Beer & Johnston (2007)

Para simplificar los cálculos subsecuentes, se introduce la constante  $c=T_0/w$ , entonces:

$$T_0 = wc, \quad W = ws, \quad T = w\sqrt{c^2 + s^2} \quad (2.11-1)$$

Para obtener la ecuación de la curva, primero se describe una proyección horizontal de un pequeño elemento de cable de longitud  $ds$  es  $dx = ds \cos \theta$ , se observa en la figura 2-12c que:

$$dx = ds \cos \theta = \frac{T_0}{T} ds = \frac{wc ds}{w\sqrt{c^2 + s^2}} = \frac{ds}{\sqrt{1 + s^2/c^2}} \quad (2.11-2)$$

Si se integra desde  $C(0,c)$  hasta  $D(x,y)$ , la ecuación resultante relaciona la longitud  $s$  de la porción  $CD$  del cable y la distancia horizontal  $x$ , se puede escribir de la siguiente forma:

$$s = c \operatorname{senh} \frac{x}{c} \quad (2.11-3)$$

Con lo que también se puede deducir que:

$$y = c \operatorname{cosh} \frac{x}{c} \quad (2.11-4)$$

Esta es la ecuación de la catenaria con eje vertical. La ordenada  $c$  del punto más bajo  $C$  recibe el nombre de parámetro de la catenaria. Elevando al cuadrado a ambos lados de la ecuación 2.11-3 y 2.11-4, se obtiene la relación entre “ $y$ ” y “ $s$ ”.

$$y^2 - s^2 = c^2 \quad (2.11-5)$$

Estas relaciones se pueden escribir como:

$$T_0 = wc, \quad W = ws, \quad T = wy \quad (2.11-6)$$

La última relación indica que la tensión en cualquier punto D del cable es proporcional a la distancia vertical desde D hasta la línea horizontal que representa al eje x.

Cuando los apoyos del cable tienen la misma elevación, la distancia L entre apoyos recibe el nombre de claro del cable y la distancia vertical h desde los apoyos hasta el punto más bajo C se conoce como la flecha del cable.

### **Mallas**

Un buen diseño de ventilación es la herramienta más eficaz para el control interno de la temperatura en los invernaderos sin ventilación mecánica, por esto es necesaria la instalación de ventanas laterales y aperturas cenitales para permitir el movimiento de la masa de aire, sin embargo el invernadero no puede perder su capacidad de cerramiento siendo aquí donde se hace necesaria la utilización de mallas antiáfidos.

Estas mallas por lo general están constituidas por monofilamentos de polietileno de alta densidad y tienen la función de no permitir el ingreso de insectos y demás plagas que puedan dañar los cultivos

Acuña (2003) señala que la superficie dedicada a la ventilación debe suponer un 20%-30% de total cubierto por plástico para asegurar el mínimo de renovaciones de aire por hora, aunque este porcentaje varía en función de la zona de emplazamiento y puede llegar a valores del 50%.

### **9. Diseño de acero laminado en frío**

Los perfiles de lámina delgada se diferencian de los perfiles laminados o formado en caliente en los espesores que usan, adicionalmente se diferencian en su comportamiento y sus modos de falla.

Según Pardo (2010) los perfiles de lámina delgada se caracterizan por inestabilidades locales, que no gobiernan la falla, sino que permiten alcanzar la resistencia post-pandeo. Referente a los esfuerzos residuales debido a que la lámina delgada tiene un proceso en frío estos son muy diferentes a los de los perfiles laminados.

La metodología empleada en el diseño pertenece al AISI en el documento llamado “*Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural*” del año 2000. Específicamente el método “*Load and Resistance Factor Design*” (LRFD).

Se mencionan a continuación los aspectos claves a revisar para la escogencia de las secciones

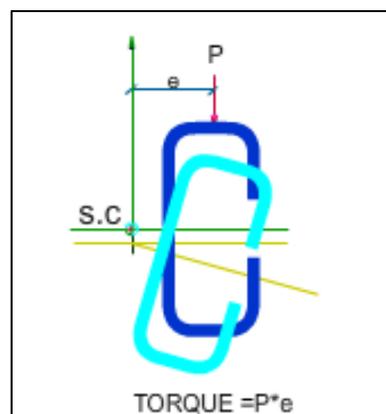
### **Pandeo local y post-pandeo local de los elementos de lámina delgada**

Las relaciones ancho espesor de los elementos de lamina delgada son altos, por lo tanto se espera que ocurra el pandeo mucho antes de la fluencia del perfil.

Según Pardo (2010) la presencia del pandeo local no implica que se alcance capacidad de carga del elemento porque este puede ser atiesado o rigidizado en sus bordes o por otros elementos, lo cual permite que se desarrolle la resistencia post-pandeo. El que se permita un pandeo local, permite usar secciones más livianas.

### **Pandeo torsional**

Los perfiles de lámina delgada poseen baja resistencia a la torsión. Debido a sus formas, en algunos casos, el centro de gravedad, no coincide con el centro de cortante, lo que genera torsión.

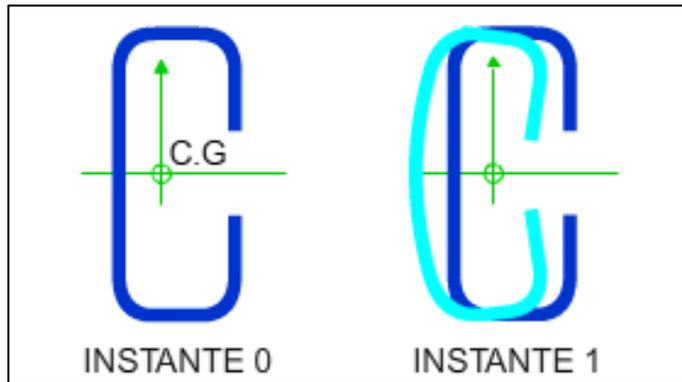


**Figura 2-8: Deformación torsional debido a la aplicación de una carga excéntrica a un perfil C**

Fuente: Pardo (2010).

### **Pandeo distorsional**

Cuando los perfiles de lámina delgada se arriostran para controlar el pandeo lateral torsional y para pandeo flexo-torsional, pueden desarrollar lo que se denomina pandeo distorsional, en este se da una translación y una rotación por la compresión.



**Figura 2-9: Pandeo distorsional en un perfil C**

Fuente: Pardo (2010).

### **Resistencia a la fluencia**

Al conformar los perfiles, es decir hacer los dobleces de las secciones, las esquinas con dobleces aumentan su resistencia a la fluencia, reduciendo la ductilidad del material, esto se considera una ventaja de este tipo de secciones.

### **Arrugamiento del alma**

Se presenta en los puntos de aplicación de cargas concentradas o en los puntos de apoyo de los perfiles de lámina delgada. Este es un inconveniente que presentan este tipo de elementos porque:

- a. No es práctico a proveer a estos elementos de rigidizadores en los puntos de apoyo.
- b. En muchos casos el alma no tiene la misma orientación de la carga impuesta al perfil.
- c. La carga se aplica en la aleta del perfil que no está apoyada simétricamente al alma, generando flexo-torsión y distorsión del mismo.

## Secciones efectivas.

### a. Ancho efectivo.

Debido que las relaciones ancho espesor son grandes, para una carga de compresión baja, se espera un pandeo elástico de la sección. No obstante el elemento es estable y por los dobleces de la sección permanece un ancho del perfil trabajando como si no hubiese habido pandeo. Este ancho se denomina ancho efectivo y se puede determinar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \left(\frac{w}{t}\right) \sqrt{\frac{f}{E}} \quad (2.9-1)$$

$$\rho = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda}\right) / \lambda \leq 1 \quad (2.9-2)$$

$$\text{Cuando } \lambda \leq 0,673, b = w \quad (2.9-3)$$

$$\text{Cuando } \lambda > 0,673, b = \rho w \quad (2.9-4)$$

Dónde:

$\lambda$  = Factor de esbeltez.

$k$  = Factor para determinar el pandeo crítico (Tabla 2-19), constante de calibración.

$t$  = Espesor del elemento a compresión.

$f$  = Borde máximo a compresión sin considerar el factor de seguridad.

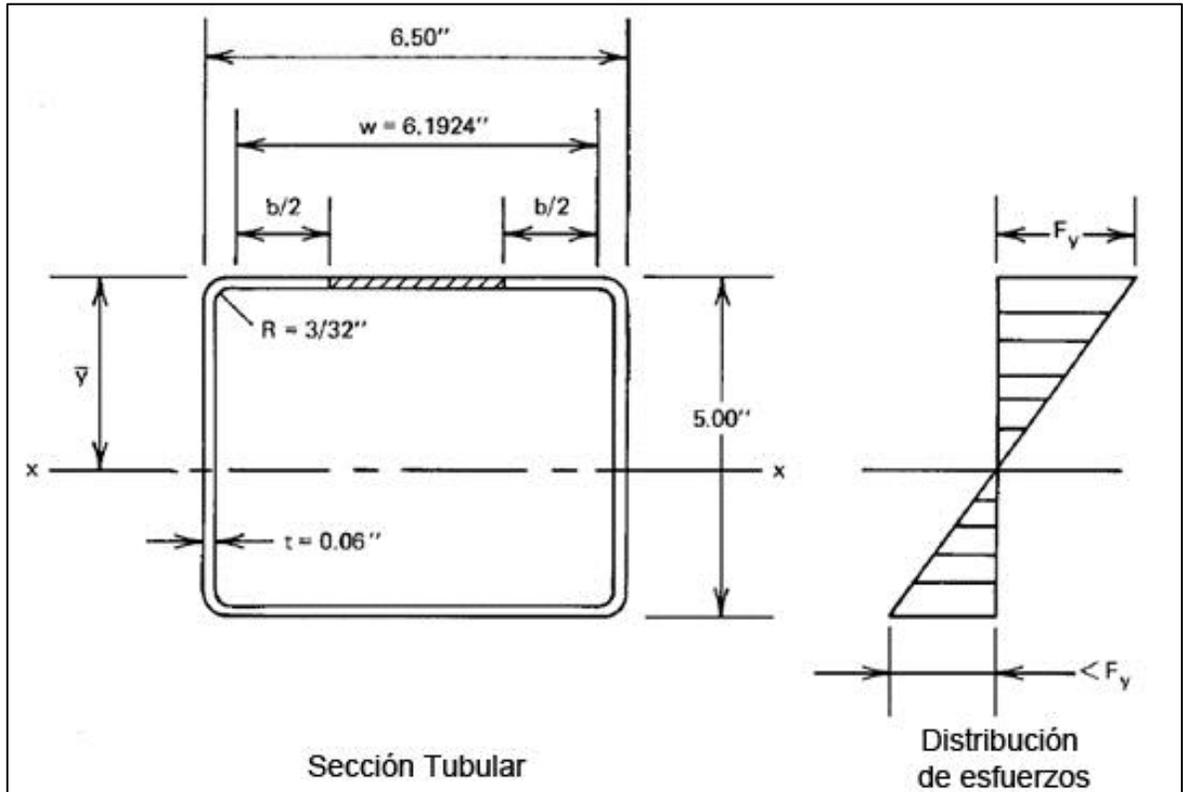
$b$  = Ancho efectivo.

$\rho$  = Factor de reducción.

$w$  = Ancho del elemento a compresión.

$R$  = Radio del dobléz de la esquina

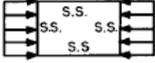
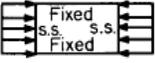
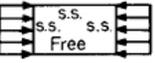
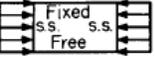
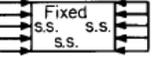
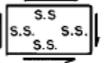
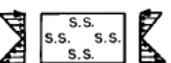
$$w = \text{ancho} - 2(R + t) \quad (2.9-5)$$



**Figura 2-10: Propiedades geométricas de una sección tubular**

Fuente: Traducido del Cold Formed Steel Design (2000) pág. 108

Tabla 2-17: Valor de k para determinar el pandeo crítico, constate de calibración

Caso	Condiciones de Borde	Tipo de Esfuerzo	Valor de k para una placa larga
a		Compresión	4,00
b		Compresión	6,97
c		Compresión	0,43
d		Compresión	1,28
e		Compresión	5,42
f		Cortante	5,34
g		Cortante	8,98
h		Flexión	23,90
i		Flexión	41,80

Fuente: Traducido del Cold Formed Steel Design (2000) pág. 94

**b. Determinación de la resistencia (capacidad de carga).**

Esto puede ser determinado mediante las siguientes ecuaciones:

$$\psi = \frac{f_2}{f_1} \tag{2.9-6}$$

$$\text{Para } \psi \leq -0,236, \quad b_2 = \frac{b_e}{2} \tag{2.9-7}$$

$$\text{Para } \psi > -0,236, \quad b_2 = b_e - b_1 \tag{2.9-8}$$

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \tag{2.9-9}$$

$$b_1 = \frac{b_e}{(3 - \psi)} \quad (2.9-10)$$

Dónde:

$f_2$  = Esfuerzo en tensión.

$f_1$  = Esfuerzo en compresión.

$k$  = Coeficiente de pandeo.

$b_1$  = Ancho efectivo.

$b_2$  = Ancho efectivo.

$b_e$  = Ancho efectivo  $b$ , calculado anteriormente.

### **Miembros a flexión**

Según el método LRFD, el requisito de seguridad estructural para la resistencia a la flexión es expresado mediante la ecuación:

$$M_u = \phi_b M_n \quad (2.9-11)$$

Dónde:

$M_u$  = Momento flector requerido para el método LRFD.

$\phi_b$  = Factor de reducción, 0,95 para elementos rigidizados y 0,90 para elementos no rigidizados.

$M_n$  = Momento nominal.

Las secciones cerradas tienen relativamente mayor rigidez torsional en comparación con las secciones abiertas como los perfiles I o Z y por lo tanto cualquier uso de las secciones cerradas resultará en un diseño más económico si la estabilidad lateral del elemento es esencial.

### **Miembros a compresión**

Según Pardo (2010) la capacidad de compresión de una columna en lámina delgada depende de:

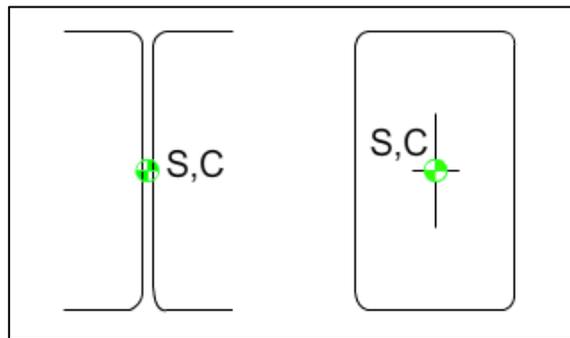
- ✓ La sección transversal.
- ✓ El espesor del material.
- ✓ La longitud no arriostrada.

- ✓ Las condiciones de borde.

Los estados límites que se deben comprobar en el diseño a compresión son:

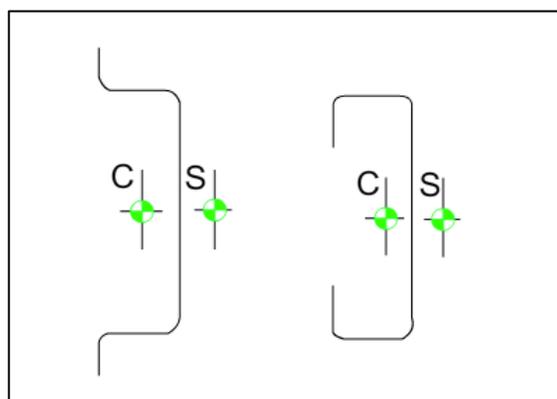
- ✓ Fluencia.
- ✓ Pandeo global de la columna.
- ✓ Pandeo local de los elementos.
- ✓ Pandeo distorsional.

Los métodos de diseño, están definidos según el tipo de sección, por lo tanto, lo primero que debe determinarse es la ubicación del centro de corte y el centroide de la sección para definir las simetrías y de esto modo poder establecer correctamente el tipo de formulación a emplear.



**Figura 2-11: Simetría doble**

Fuente: Pardo (2010)



**Figura 2-12: Simetría simple**

Fuente: Pardo (2010)

### a. Estado de fluencia

Estas relaciones se encuentran en función del esfuerzo de fluencia y el esfuerzo resistente de Euler y se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{\sigma_e}} \quad (2.9-12)$$

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (2.9-13)$$

$$(F_n)_I = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y, \quad \text{para } \lambda_c \leq 1,5 \quad (2.9-14)$$

$$(F_n)_e = \left( \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y, \quad \text{para } \lambda_c > 1,5 \quad (2.9-15)$$

Dónde:

$F_y$  = Limite de Fluencia.

$\sigma_e$  = Esfuerzo teórico de pandeo.

$E$  = Modulo de elasticidad del acero (203 GPa).

$L$  = longitud no arriostrada de la columna.

$K$  = Factor de largo efectivo.

$r$  = Radio de giro mínimo.

$(F_n)_I$  = Esfuerzo inelástico de pandeo.

$(F_n)_e$  = Esfuerzo elástico de pandeo.

$\lambda_c$  = Parámetro de esbeltez de la columna.

Finalmente, la resistencia para este estado límite es:

$$\phi_c P_n = \phi_c A_e F_n \quad (2.9-16)$$

Dónde:

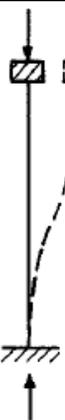
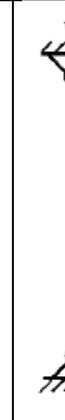
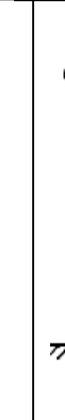
$A_e$  = Área efectiva.

$F_n$  = Determinado con las ecuaciones 2.8-14 ó 2.8-15.

$\phi_c = 0,85$  para el método LRFD.

$P_n$  = Resistencia axial nominal.

**Tabla 2-18: Factor de longitud efectiva, K**

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Forma deformada de la columna se muestra por línea a puntos						
Valor teórico de k	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor recomendado de k cuando se aproxima a las condiciones ideales	0,65	0,8	1,2	1,0	2,1	2,0
Condición final			Rotación Fija		Translación Fija	
			Rotación Libre		Translación Fija	
			Rotación Fija		Translación Libre	
			Rotación Libre		Translación Libre	

Fuente: Traducido del Cold Formed Steel Design (2000) pág. 343.

### Miembros a cortante

Todo elemento de lámina delgada sometido a cortante tiene dos estados límites a ser verificados, como lo son:

- ✓ Fluencia del alma
- ✓ Pandeo del alma

#### a. Fluencia por cortante

Cuando la relación  $h/t$  es relativamente baja el elemento está sujeto a esfuerzo de cortante y su resistencia probablemente está gobernada por la fluencia por cortante. El esfuerzo a cortante máximo está dado por:

$$\tau_y = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (2.9-17)$$

Dónde:

$F_y$  = Limite de fluencia en tensión.

El esfuerzo cortante nominal puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$V_n = \left( \frac{F_y}{\sqrt{3}} \right) (ht) \cong 0,60F_y ht \quad (2.9-18)$$

$$F_v = 0,60F_y, \quad \text{si y solo si } \frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}} \quad (2.9-19)$$

Dónde:

$h$  = Altura de la sección.

$t$  = Espesor de la sección.

$k_v$  = Coeficiente de fluencia por cortante

#### b. Pandeo elástico a corte

El pandeo elástico a corte crítico puede ser determinado por la ecuación:

$$\tau_{cr} = \frac{k_v \pi^2 E}{12 (1 - \mu^2) \left( \frac{h}{t} \right)^2} \quad (2.9-20)$$

Dónde:

E = Modulo de elasticidad del acero (203 GPa).

$\mu$  = Razón de Poisson (0,30).

Si  $\tau_{cr}$  es menor que el límite proporcional en cortante ( $0,8 \tau_y$ ), el esfuerzo a cortante nominal para pandeo elástico se puede obtener por medio de la ecuación:

$$V_n = \frac{0,905 k_v E t^3}{h} \quad (2.9-21)$$

### c. Pandeo inelástico a corte

Se determina el esfuerzo resistente como:

$$\tau_{cr} = \frac{0,64 \sqrt{k_v F_y E}}{(h/t)} \quad (2.9-22)$$

El esfuerzo cortante nominal en el rango inelástico puede ser obtenido mediante:

$$V_n = 0,64 t^2 \sqrt{k_v F_y E} \quad (2.9-23)$$

### d. Criterios de diseño

El esfuerzo a cortante nominal de cualquier sección debe ser calculado con:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 0,96 \sqrt{E \frac{k_v}{F_y}}, V_n = 0,60 F_y h t \text{ con } \phi_v = 1 \quad (2.9-24)$$

$$\text{Para } 0,96 \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1,415 \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}}, V_n = 0,64 t^2 \sqrt{k_v F_y E}, \text{ con } \phi_v = 0,90 \quad (2.9-25)$$

$$\text{Para } \frac{h}{t} > 1,415 \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}}, V_n = \frac{0,905 E k_v t^3}{h} \quad (2.9-26)$$

Dónde:

$V_n$  = Esfuerzo cortante nominal.

t = Espesor de la sección.

h = Altura de la sección.

$k_v$  = Coeficiente de fluencia por cortante, el cual puede ser determinado mediante:

- ✓ Para almas no reforzadas = 5,34.
- ✓ Para almas con rigidizadores transversales
  - Para  $a/h \leq 1,0$ .

$$k_v = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad (2.9-27)$$

- Para  $a/h > 1,0$ .

$$k_v = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \quad (2.9-28)$$

Dónde:

$a$  = Longitud del panel de corte para el elemento con alma no reforzada.

$a$  = Distancia entre los rigidizadores transversales para almas con rigidizadores.

### **Miembros a tensión**

Este estado corresponde a todas aquellas fuerzas que alargan el elemento y los estados límites a revisar son:

#### **a. Fluencia de la sección total.**

El estado límite para fluencia a tensión en el área total, viene dado por:

$$T_n = A_g F_y, \quad \text{con } \phi_t = 0,90 \quad (2.9-29)$$

Dónde:

$T_n$  = Esfuerzo nominal en tensión.

$A_g$  = Área bruta de la sección transversal.

$F_y$  = Limite de fluencia.

#### **b. Rotura de la sección neta.**

Esta resistencia nominal se relaciona con el esfuerzo de rotura del material y es una función de la ductilidad del mismo, el estado límite para la rotura de la sección viene dado por:

$$T_n = A_n F_u, \quad \text{con } \phi_t = 0,75 \quad (2.9-30)$$

Dónde:

$T_n$  = Esfuerzo nominal en tensión.

$A_g$  = Área neta de la sección transversal.

$F_y$  = Limite de fluencia.

### Miembros con combinación de carga axial y flexión.

#### a. Combinación de carga axial en tensión y flexión.

Las resistencias requeridas  $T_u$ ,  $M_{ux}$ , y  $M_{uy}$  deben de satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (2.9-31)$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} - \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (2.9-32)$$

Dónde:

$T_u$  = Resistencia requerida en carga axial a tensión.

$M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  = Resistencias requeridas en flexión con respecto a sus ejes centroidales.

$\phi_b$  = 0,90 ó 0,95 para resistencia a flexión, o 0,90 alas arriostradas lateralmente.

$\phi_t$  = 0,95.

$T_n$  = Resistencia nominal a la tensión.

$M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  = Resistencia nominal a la flexión alrededor de los ejes centroidales.

$M_{nxt}$ ,  $M_{nyt}$  =  $S_f F_y$

$S_f$  = Modulo de sección para la fibra en tensión.

#### b. Combinación de carga axial en compresión y flexión.

Las resistencias requeridas  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  deben de satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1,0 \quad (2.9-33)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_{no}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (2.9-34)$$

Cuando  $P_u/\phi_c P_n \leq 0,15$ , la siguiente ecuación puede utilizarse en lugar de las dos anteriores:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (2.9-35)$$

Dónde:

$P_u$  = Resistencia requerida en compresión

$M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  = Resistencia requerida a flexión con respecto a los ejes centroidales de la sección efectiva determinados para la resistencia a compresión sola.

$$\alpha_x = 1 - \frac{P_u}{P_{Ex}}$$

$$\alpha_y = 1 - \frac{P_u}{P_{Ey}}$$

$\phi_b = 0,90$  ó  $0,95$  para resistencia a flexión o  $0,90$  para alas arriostradas lateralmente

$\phi_c = 0,85$

$P_n$  = Resistencia nominal axial

$P_{no}$  = Resistencia nominal axial determinada con  $F_n = F_y$

$M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  = Resistencia nominal a flexión alrededor de los ejes centroidales

$$P_{Ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$P_{Ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$I_x$ ,  $I_y$  = Momentos de inercias de sus respectivos ejes

$L_x$  = Longitud no arriostrada para flexión alrededor del eje x.

$L_y$  = Longitud no arriostrada para pandeo alrededor del eje y.

$K_x$  = Factor de longitud efectiva para pandeo alrededor del eje x.

$K_y$  = Factor de longitud efectiva para pandeo alrededor del eje y.

$C_{mx}$ ,  $C_{my}$  = Coeficientes los cuales deben de ser tomados como:

✓ Para miembros en compresión sujetos a desplazamiento lateral

$$C_m = 0,85$$

- ✓ Para miembros en compresión en marcos arriostrados y no sujetos a cargas transversales entre los soportes del plano de flexión

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.9-36)$$

Donde  $M_1/M_2$  es la relación entre el más pequeño y el mayor momento en el final de la porción del miembro bajo consideración. Si esta relación es positiva se dobla en una curva inversa y si es negativa se dobla en curvatura simple.

- ✓ Para miembros en compresión en marcos arriostrados contra translaciones laterales en el plano de carga y sujetos a cargas transversales entre los soportes, el valor de  $C_m$  de puede tomar como:
  - ✓ Para miembros cuyos extremos están restringidos,  $C_m = 0,85$ .
  - ✓ Para miembros cuyos extremos son sin restricciones,  $C_m = 1,0$ .

### **Miembros con combinación de flexión y cortante**

Para almas no reforzadas, la resistencia a la flexión requerida,  $M_u$ , y la resistencia a la cortante requerida,  $V_u$ , debe de satisfacer la siguiente ecuación:

$$\left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right)^2 + \left( \frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1,0 \quad (2.9-37)$$

Para almas con rigidizadores transversales, la resistencia a la flexión requerida,  $M_u$ , y la resistencia a la cortante requerida,  $V_u$ , no deberá de exceder  $\phi_b M_n$  y  $\phi_v V_n$ , respectivamente. Cuando  $M_u/(\phi_b M_{nxo}) > 0,5$  y  $V_u/(\phi_v V_n) > 0,7$ , entonces  $M_u$  y  $V_u$  deben de satisfacer la siguiente ecuación de interacción:

$$0,6 \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) + \left( \frac{V_u}{\phi_v V_n} \right) \leq 1,3 \quad (2.9-38)$$

Dónde:

$\phi_b$  = Factor de resistencia para flexión (0,90).

$\phi_v$  = Factor de resistencia para cortante (0,90).

$M_n$  = Resistencia nominal a la flexión cuando existe flexión sola.

$M_{nxo}$  = Resistencia nominal a la flexión alrededor del eje x centroidal.

$V_n$  = Resistencia nominal al cortante cuando existen cortante sola.

## Miembros cilíndricos

- **Pandeo por flexión**

✓ Para  $\frac{KL}{r} \leq \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{F_y}}$

$$\sigma_T = F_y \left[ 1 - \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} \left( \frac{KL}{r} \right) \right] \quad (2.9-39)$$

✓ Para  $\frac{KL}{r} > \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{F_y}}$

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (2.9-40)$$

El radio de giro de los perfiles cilíndricos puede ser calculado como:

$$r = \frac{\sqrt{D_o^2 + D_i^2}}{4} \cong \frac{R}{\sqrt{2}} \quad (2.9-41)$$

Dónde:

K = Factor de longitud efectiva

L = Longitud del elemento

F<sub>y</sub> = Limite de fluencia del acero

E = Modulo de elasticidad del acero

D<sub>o</sub> = Diámetro externo

D<sub>i</sub> = Diámetro interno

R = Radio medio del tubo

- **Pandeo local**

Puede ocurrir en miembros que se encuentran sujetos a: compresión, flexión, torsión, cortante transversal y cargas combinadas.

✓ Compresión

El pandeo varía con la longitud del elemento, por lo que se divide en tres categorías:

- Tubos cortos,  $Z < 2,85$ .

- Tubos moderados,  $2,85 < Z < 50$ .
- Tubos largos,  $Z > 50$ .

$$Z = 0,954 \frac{L^2}{Rt} \quad (2.9-42)$$

Dónde:

L = Longitud del tubo

R = Radio medio del tubo

t = Espesor del perfil

Para tubos cortos, el esfuerzo crítico de pandeo local es:

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E (t^2/12)}{(1 - \mu) L^2} \quad (2.9-43)$$

Para tubos largos, la carga crítica de pandeo y el esfuerzo crítico de pandeo local son:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.9-44)$$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{2} \left(\frac{R}{L}\right)^2 \quad (2.9-45)$$

Para tubos moderados, el esfuerzo crítico de pandeo local es:

$$f_{cr} = 0,605E \left(\frac{t}{R}\right) \quad (2.9-46)$$

Cuando el esfuerzo de pandeo excede el límite proporcional, el pandeo local en el rango inelástico puede ser determinado con:

$$f_{cr} = 0,605aE \left(\frac{t}{R}\right) \quad (2.9-47)$$

$$a = \left(\frac{1 - \mu^2}{1 - \mu_p^2}\right) \left(\frac{E_s}{E}\right) \left(\frac{E_t}{E}\right)^{1/2} \quad (2.9-48)$$

Dónde:

E = Modulo de elasticidad.

t = Espesor del elemento.

I = Momento de inercia del área transversal ( $I = \pi R^3 t$ ).

L = Longitud del elemento.

$\mu$  = Relación de Poisson (0,3).

$\mu_p$  = Relación de Poisson en el rango plástico (0,5).

R = Radio de la sección.

$E_s$  = Modulo secante.

$E_t$  = Modulo de elasticidad.

✓ Flexión

Este puede ser tomado como 1,3 veces el valor del pandeo local por compresión

✓ Torsión

Para tubos moderados, el esfuerzo de la torsión puede ser determinado como:

$$(\tau_{cr})_{torsion} = 0,632aE \left(\frac{t}{R}\right)^{5/4} \left(\frac{R}{L}\right)^{1/2} \quad (2.9-49)$$

$$a = 1,16 \frac{E_s}{E} \quad (2.9-50)$$

✓ Cortante transversal

En el rango elástico, la cortante transversal puede ser tomado como 1,25 veces los valores obtenidos para la torsión.

✓ Cargas combinadas

La siguiente ecuación de interacción puede ser utilizada para cualquier combinación de carga

$$\left(\frac{f}{f_{cr}}\right) + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 = 1 \quad (2.9-51)$$

Dónde:

f = Esfuerzo actual.

$f_{cr}$  = Esfuerzo critico de pandeo.

$\tau$  = Esfuerzo de cortante actual.

$\tau_{cr}$  = Esfuerzo critico de cortante.

- **Criterios de diseño**

- ✓ Esfuerzo de pandeo local

- ✓ Para  $D/t \leq 0,125E/F_y$

$$\frac{F_{ult}}{F_y} = 1 \quad (2.9-52)$$

- ✓ Para  $0,125E/F_y < D/t \leq 0,4E/F_y$

$$\frac{F_{ult}}{F_y} = 0,031 \left( \frac{E}{F_y} \right) \left( \frac{t}{D} \right) + 0,75 \quad (2.9-53)$$

- ✓ Para  $D/t > 0,4E/F_y$

$$\frac{F_{ult}}{F_y} = 0,33 \left( \frac{E}{F_y} \right) \left( \frac{t}{D} \right) \quad (2.9-54)$$

AISI especifica que cuando la relación  $D/t$  es menor o igual a  $0,112E/F_y$ , el miembro cilíndrico debe ser diseñado para fluencia. Cuando  $0,112E/F_y < D/t < 0,441E/F_y$ , el diseño se base en el pandeo local.

Dónde:

$F_{ult}$  = Esfuerzo último.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia.

$D$  = Diámetro medio.

$t$  = Espesor de la sección.

- ✓ Resistencia a la compresión

Para determinar, la resistencia nominal a carga axial  $P_n$ , de los miembros tubulares que no tengan una relación  $D/t$  mayor a  $0,441E/F_y$ , se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P_n = F_n A_n \quad (2.9-55)$$

Dónde:

$P_n$  = Resistencia nominal a carga axial

$F_n$  = Esfuerzo de pandeo a flexión que debe ser determinado con:

✓ Para  $\lambda_c \leq 1,5$ .

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (2.9-56)$$

✓ Para  $\lambda_c > 1,5$

$$F_n = \left[ \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (2.9-57)$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (2.9-58)$$

Dónde:

$F_e$  = Esfuerzo de pandeo a flexión en el rango elástico.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia.

La carga axial permisible para el método LRFD se obtiene con:

$$P_a = \phi_c P_n, \quad \text{con } \phi = 0,85 \quad (2.9-59)$$

✓ Resistencia a la flexión

✓ Para  $D/t \leq 0,0714 E/F_y$

$$M_n = 1,25 F_y S_f \quad (2.9-60)$$

✓ Para  $0,0714 E/F_y < D/t \leq 0,318 E/F_y$

$$M_n = \left[ 0,970 + 0,020 \frac{(E/F_y)}{(D/t)} \right] F_y S_f \quad (2.9-61)$$

✓ Para  $0,318 E/F_y < D/t \leq 0,441 E/F_y$

$$M_n = \left[ \frac{0,328 E}{(D/t)} \right] S_f \quad (2.9-62)$$

El momento permisible a flexión se determina con:

$$M_a = \phi_b M_n, \quad \text{con } \phi_b = 0,95 \quad (2.9-63)$$

Dónde:

D = Diámetro medio.

t = Espesor de la sección.

F<sub>y</sub> = Esfuerzo de fluencia.

E = Modulo de elasticidad.

S<sub>f</sub> = Modulo de sección elástico.

M<sub>n</sub> = Resistencia nominal a flexión.

✓ Combinación de flexión y compresión.

Las ecuaciones de interacciones presentadas anteriormente también son utilizadas para este tipo de secciones.

## 10. Diseño de cimentaciones.

Se detalla a continuación el procedimiento a seguir

### Zapatas aisladas

Las zapatas aisladas son un tipo de cimentación superficial que sirve de base para elementos estructurales puntuales, de modo que amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite.

Para su diseño se deben de seguir los siguientes pasos:

#### a. Obtener la carga de servicio

Esto se realiza desmayorando la carga última, dividiéndola por el factor de seguridad, el cual equivale a 1,5 para estructuras de concreto y 1,4 para estructuras de acero.

#### b. Determinar el ancho B de la zapata

$$B = \sqrt{\frac{P_s}{q_a}} \quad (2.10-1)$$

Dónde:

B = Ancho de zapata

$P_s$  = Carga de servicio

$q_a$  = Capacidad admisible del suelo

**c. Suponer el espesor h de la zapata**

- ✓ El espesor efectivo de la zapata por encima del refuerzo inferior no debe ser menor a 150mm.
- ✓ El recubrimiento mínimo debe ser de 70mm, para zapatas apoyadas sobre suelo natural.
- ✓ El recubrimiento mínimo debe ser de 50mm, para zapatas apoyadas sobre suelo de relleno y el acero de refuerzo sea  $\phi > 5/8''$ .
- ✓ El recubrimiento mínimo debe ser de 40mm, para zapatas apoyadas sobre suelo de relleno y el acero de refuerzo sea  $\phi < 5/8''$ .

**d. Revisar punzonamiento o cortante bidireccional**

Se trabaja con una superficie de falla o sección crítica perpendicular al plano de la zapata y localizada a  $d/2$ .

Para el supuesto de una zapata cuadrada, si se asume que debajo de ella se presenta una reacción uniforme del suelo dada por  $q = P/B^2$ , el esfuerzo cortante bidireccional es:

$$V_{ubd} = \frac{P_u(B^2 - (b_1 + d)(b_2 + d))}{2dB^2(b_1 + d + b_2 + d)} \quad (2.10-2)$$

Dónde:

$P_u$  = Carga última que se transfiere a la zapata a través de la columna

B = Ancho de la zapata

d = Distancia desde la fibra extrema a compresión ( $d = h - \text{recubrimiento}$ )

$b_1$  = Lado corto de la columna o pedestal.

$b_2$  = Lado largo de la columna o pedestal.

Esto debe cumplir con:

$$V_{ubd} < \frac{\phi \sqrt{f'c}}{3} \quad (2.10-3)$$

$$V_{ubd} < \frac{\phi \sqrt{f'c}}{6} \left( 1 + \frac{\alpha_s d}{2 b_0} \right) \quad (2.10-4)$$

$$V_{ubd} < \frac{\phi \sqrt{f'c}}{6} \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \quad (2.10-5)$$

Dónde:

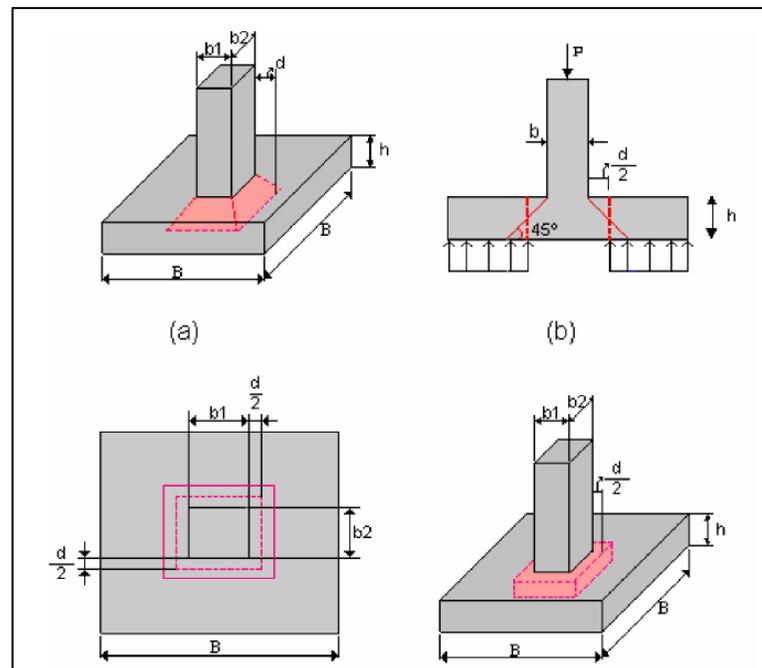
$\phi$  = Coeficiente de reducción de resistencia (0,85)

$f'c$  = Resistencia nominal del concreto

$\alpha_s$  = Depende de la posición del pedestal, 40 si el pedestal está en el interior, 30 si el pedestal está en el borde, 20 si el pedestal está en la esquina.

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica.

$\beta_c = b_2/b_1$



**Figura 2-13: Cortante bidireccional en una zapata que soporta una columna**

Fuente: Garza (2000)

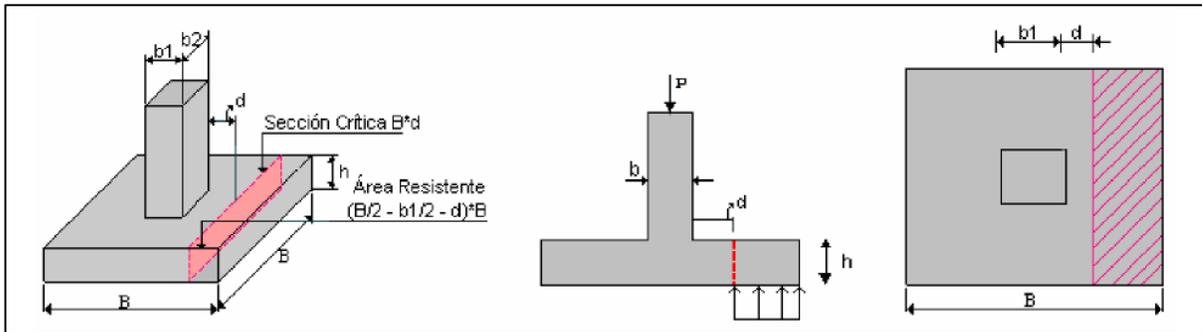
**e. Revisar cortante unidireccional.**

Para el caso supuesto de una zapata cuadrada

$$V_{ubd} = \frac{P_u \left( \frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} - d \right)}{dB^2} \quad (2.10-6)$$

Se debe cumplir con:

$$V_{ubd} < \frac{\phi \sqrt{f'c}}{6}, \quad \text{con } \phi = 0,85 \quad (2.10-7)$$



**Figura 2-14: Cortante unidireccional en la zapata**

Fuente: Garza (2000)

**f. Revisar el momento para calcular el acero de refuerzo**

El refuerzo resultante desde repartirse uniformemente a todo lo ancho de la zapata, con excepción del refuerzo transversal de la zapata rectangular, en donde una banda central de ancho igual al menor de la zapata debe tener uniformemente repartida una porción del refuerzo total.

En cualquier caso, el refuerzo a flexión debe tener una cuantía mínima de 0,0018 en ambas direcciones.

$$M_u = \frac{P_u}{2B} \left( \frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} \right)^2 \quad (2.10-8)$$

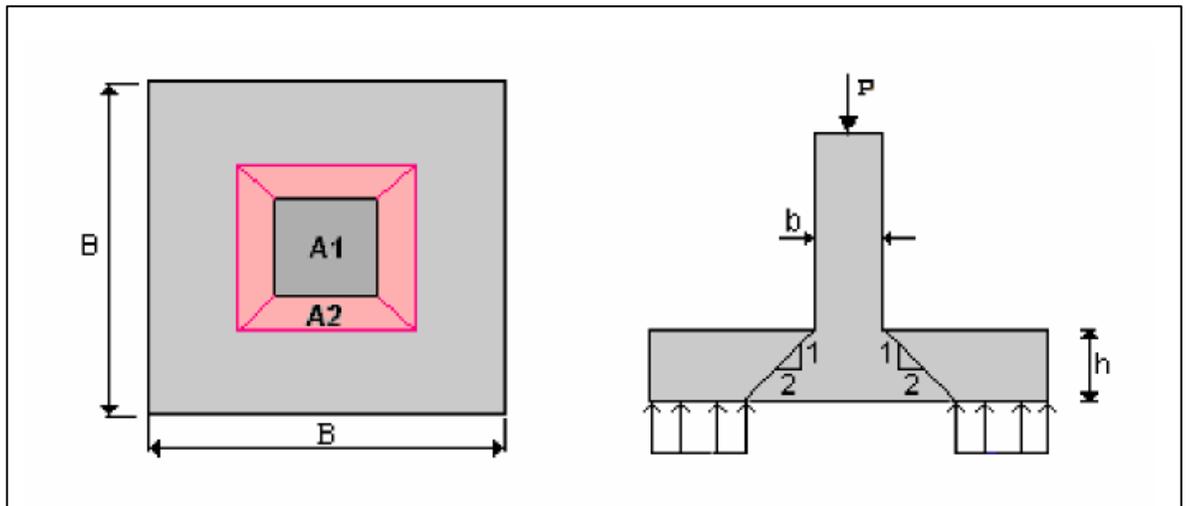
**g. Revisar aplastamiento**

Se suele considerar que la presión de compresión que transmite la columna se va disipando con el espesor  $h$  de la zapata, a razón de 2 horizontal a 1 vertical desde el área  $A_1$  en su cara superior, hasta el área  $A_2$  en su cara inferior.

$$P_u < \phi 0,85 f'c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, \text{ con } \phi = 0,70 \quad (2.10-9)$$

Se debe cumplir con:

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \quad (2.10-10)$$



**Figura 2-15: Verificación del aplastamiento**

Fuente: Garza (2000)

**Zapatas con flexión biaxial**

Esta situación se presenta cuando la viga de amarre no toma momentos. La zapata entonces trabaja a carga axial y a momentos flectores sobre los ejes “x” y “y”.

La carga de servicio  $P$ , actúa a la distancia  $e_x$  del eje “y” y  $e_y$  del eje “x” de modo que:

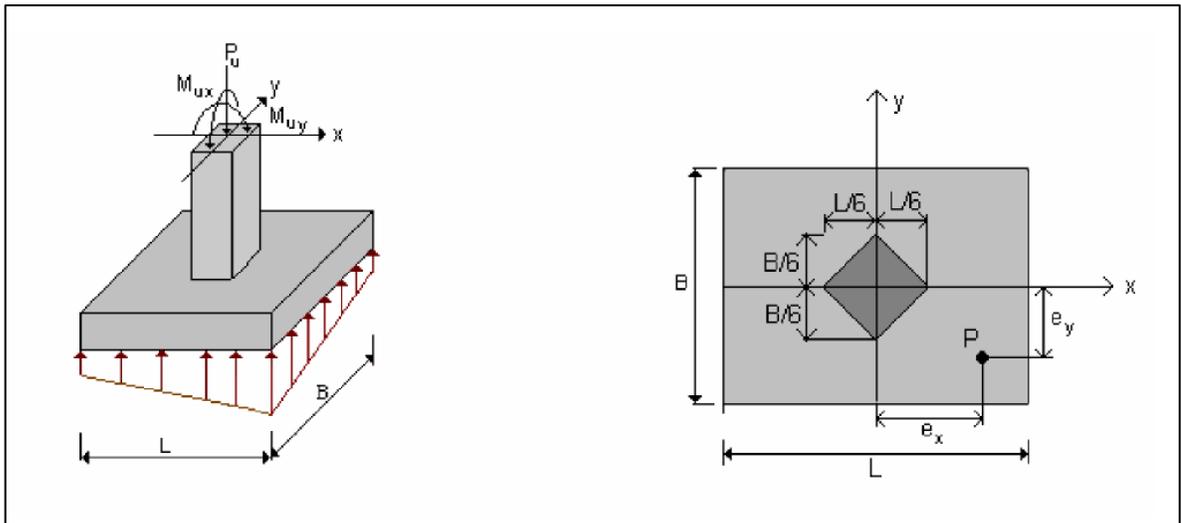
$$e_x = \frac{M_y}{P} \quad (2.10-11)$$

$$e_y = \frac{M_x}{P} \quad (2.10-12)$$

Si  $e_x \leq L/6$  y  $e_y \leq B/6$  toda la superficie bajo la zapata estaría sometida a compresión con una distribución de presiones en forma de prisma rectangular.

La distribución de presiones debajo de la zapata se puede expresar como:

$$q = \frac{P}{BL} \left( 1 \pm \frac{6e_x}{L} \pm \frac{6e_y}{B} \right) < q_a \quad (2.10-13)$$



**Figura 2-16: Zapata con flexión biaxial**

Fuente: Garza (2000)

Para facilitar la solución se supone  $q = q_a$  y  $B \geq 6e_y$ , datos que reemplazados en la ecuación permiten despejar  $L^2$ , dos raíces para la solución de  $L$ , de los cuales se elige la solución correcta.

En el evento de que  $e_y = 2e_x$ , la longitud en la dirección  $y$  debe ser el doble de la dirección en  $x$  ( $B = 2L$ ). Sin embargo, para evitar errores en la colocación del acero de refuerzo durante la construcción de la zapata, se recomienda considerar  $B=L$ .

### **Diseño de acero de refuerzo en flexión**

El concreto sin refuerzo es ineficiente a fuerzas de flexión, debido a que la resistencia a la tensión es sumamente baja y por esta razón se colocan barras de acero de refuerzo.

La teoría a flexión de concreto reforzado según el ACI sección 10.2.5 establece tres suposiciones que se deben de satisfacer para garantizar la validez de las fórmulas:

- a. Se desprecia la resistencia a la tensión del concreto en los cálculos de resistencia a la flexión.
- b. Se asume que una sección ha alcanzado su momento nominal cuando la fibra extrema del concreto a compresión posee una deformación unitaria de  $\epsilon = 0,003$ .
- c. La relación esfuerzo-deformación para el concreto puede tener diversas distribuciones siempre que sea consistente con los resultados experimentales. Siendo la distribución más usual la rectangular propuesta por Whitney.

Para diseñar se determina la cantidad de acero necesaria para resistir un momento interno ( $M_u$ ) producto de las fuerzas internas. El requerimiento básico que se debe satisfacer en el diseño a flexión según el ACI-318-08:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.10-14)$$

$$M_u = \phi A_s f_y \left( d - \frac{A_s f_y}{1,7 f'_c b} \right) \quad (2.10-15)$$

Dónde:

$M_u$  = Momento último que resulta del análisis estructural considerando las cargas mayoradas.

$\phi$  = Factor de reducción definido según el CSCR-2010, siendo 0,90 el valor deseable máximo.

$\phi M_n$  = Momento máximo que la viga es capaz de resistir.

$A_s$  = Área de acero a flexión

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto

b = Ancho del elemento

d = Distancia de la fibra más alejada del concreto en compresión al centroide del acero en tensión.

La cantidad de acero en tensión debe satisfacer simultáneamente dos criterios:

a. Acero mínimo : La cantidad de acero mínima será el mayor valor entre:

$$A_{s,min} = \frac{14}{f_y}bd \quad (2.10-16)$$

$$A_{s,min} = \frac{0,8\sqrt{f'_c}}{f_y}bd \quad (2.10-17)$$

b. Acero máximo: Según el CSCR-2010 establece que el valor de  $\rho$  no debe exceder a 0,025, esto con el objetivo de garantizar una falla dúctil del elemento.

Finalmente, se debe proponer un refuerzo que contribuya a tomar los esfuerzos a compresión y que reduzca las deflexiones. La cantidad de acero a compresión se calcula con la siguiente fórmula:

$$A'_s = \frac{A_s}{2} \quad (2.10-18)$$

Dónde:

$A'_s$  = Área de acero a compresión.

$A_s$  = Área de acero a tensión.

### **Diseño de acero de refuerzo en elementos a compresión.**

Este caso se presenta en los pedestales de los cimientos, los cuales se pueden considerar como columnas cortas sometidas a compresión únicamente ya que los momentos presentes son muy pequeños y generan excentricidades muy bajas.

Para esto según el ACI sección 10.9, recomienda que el área de refuerzo longitudinal para elementos nos compuestos no debe ser menor a 0,01 del área transversal de la columna ni mayor a 0,08.

La siguiente formula se emplea para el diseño de este acero de refuerzo:

$$P_u = \phi 0,80 \{0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (2.10-19)$$

Dónde:

$P_u$  = Carga última a compresión.

$\phi = 0,70$ .

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero.

$A_g$  = Área transversal del elemento.

$A_{st}$  = Área del refuerzo longitudinal.

### **Diseño de acero a cortante.**

Además del refuerzo longitudinal, los elementos deben de incluir un refuerzo transversal, dicho refuerzo consiste en aros que rodean el refuerzo longitudinal, colocados perpendicularmente al eje principal del elemento a intervalos variables a lo largo del mismo.

Las funciones principales del refuerzo transversal en elementos de concreto son:

- a. Contribuir a la resistencia ante fuerzas cortantes.
- b. Confinar el concreto en el núcleo.
- c. Evitar el pandeo lateral del refuerzo longitudinal cuando este se ve sometido a fuerzas de compresión.

La fuerza cortante que resiste un elemento de concreto reforzado ( $\phi V_n$ ) será la que proporcionen de manera conjunta ambos materiales:

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s \quad (2.10-20)$$

Dónde:

$\phi V_c$  = Resistencia al cortante que aporta el concreto.

$$\phi V_c = \phi 0,53 \sqrt{f'_c} b d \quad (2.10-21)$$

$\phi V_s$  = Resistencia al cortante debido al acero (aros).

$$\phi V_s = \frac{\phi A_v f_y aros d}{s} \quad (2.10-22)$$

$f_{y,aros}$  = Grado de la varilla con que están hechos los aros.

$s$  = Separación centro a centro entre aros.

$A_v$  = Doble del área de la varilla con que están hechos los aros.

$\phi$  = Factor de reducción para cortante (0,75).

En el diseño por cortante los elementos deben de cumplir con la siguiente relación:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.10-23)$$

Dónde:

$V_u$  = Cortante último proveniente de las cargas externas.

$\phi V_n$  = Capacidad a cortante del elemento.

$\phi$  = Factor de reducción para cortante = 0,75.

El procedimiento para determinar la varilla de los aros y se separación puede visualizarse como un diagrama en el cual se decide cuál de los casos aplica, estos casos están definidos en función del cortante requerido del acero  $\phi V_s$ .

✓ Caso 1

$$\text{Si } V_u \leq \frac{\phi V_c}{2}, \text{ no se requieren aros} \quad (2.10-24)$$

✓ Caso 2

$$\text{Si } \frac{\phi V_c}{2} < V_u \leq \phi V_c, \text{ se coloca el acero mínimo a cortante} \quad (2.10-25)$$

$$s_{max} = \text{menor } \frac{d}{2} \text{ ó } 60 \text{ cm} \quad (2.10-26)$$

$$A_{v,min} = \frac{3,5 b s}{f_{y,aros}} \quad (2.10-27)$$

✓ Caso 3

$$\text{Si } V_u > \phi V_c, \text{ se requieren aros} \quad (2.10-28)$$

$$a. \text{ Si } V_s \leq 2\phi V_c, \text{ entonces:} \quad (2.10-29)$$

$$s_{max} = \text{menor } \frac{d}{2} \text{ ó } 60 \text{ cm} \quad (2.10-30)$$

$$A_v = \frac{\phi V_s s}{\phi f_y a r o s d} \quad (2.10-31)$$

$$b. \text{ Si } 2\phi V_c < \phi V_s \leq 4\phi V_c, \quad \text{ entonces:} \quad (2.10-32)$$

$$s_{max} = \text{menor } \frac{d}{4} \text{ ó } 30 \text{ cm} \quad (2.10-33)$$

$$A_v = \frac{\phi V_s s}{\phi f_y d} \quad (2.10-34)$$

✓ Caso 4

*Si  $\phi V_s > 4 \phi V_c$ , se debe cambiar la sección o el grado del acero* (2.10-35)

## 11. Sistema de evacuación de aguas de lluvia.

El sistema de evacuación de aguas pluviales consta de dos secciones: la canoa y el bajante.

El diseño de la canoa se realizó considerando la ecuación de Manning para el diseño de canales abiertos revestidos considerando el hierro galvanizado como material de revestimiento, para el caudal de diseño y el bajante se consideró la metodología propuesta en el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (2010).

### Caudal de diseño

Según el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (2010), para determinar el caudal de diseño de los sistemas de desagüe se utiliza el método racional, el cual se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} \quad (2.12-1)$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño de la tubería, bajante o canal de desagüe (l/s)

i = Intensidad de la lluvia (mm/hora)

A = Área de drenaje tributaria (m<sup>2</sup>)

C = Coeficiente de escorrentía superficial (adimensional)

Este código recomienda para estos valores lo siguiente:

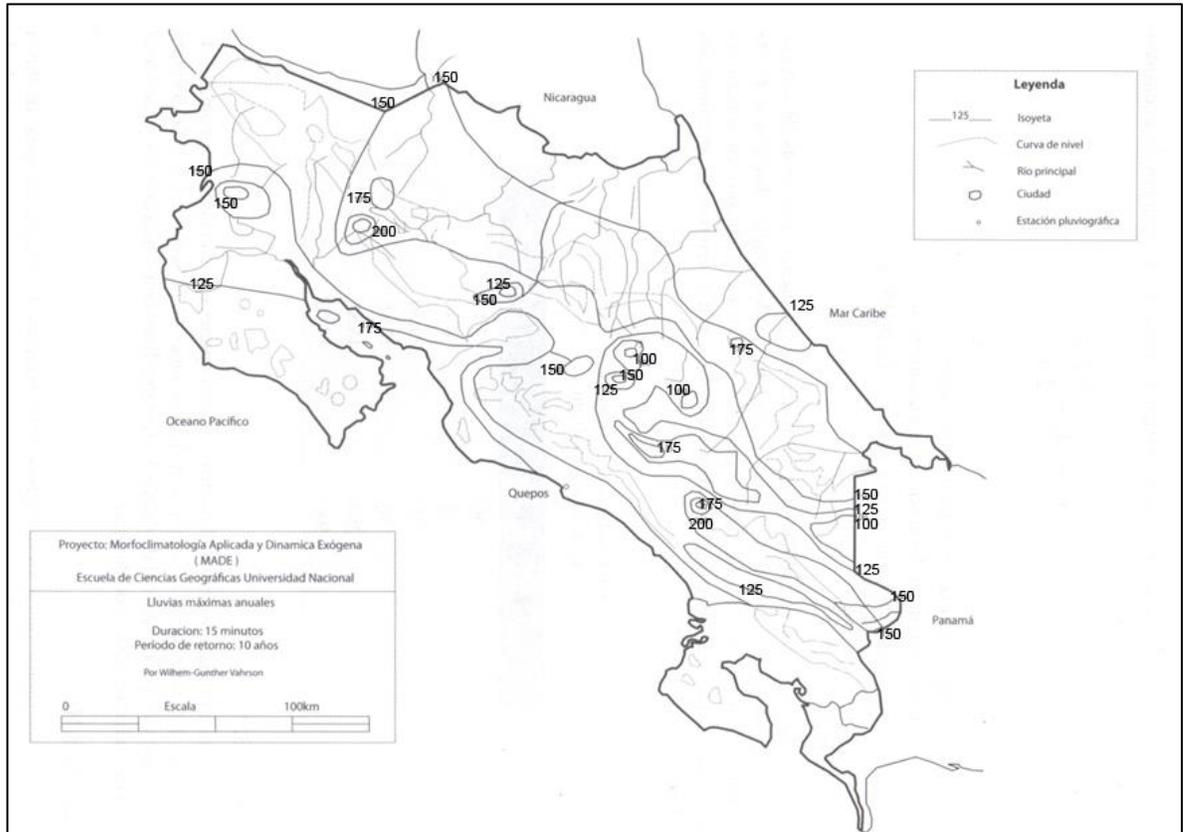
- a. Coeficiente de escorrentía: Para este coeficiente se recomienda los siguientes valores.

**Tabla 2-19: Coeficientes de escorrentía en la formula racional**

<b>Tipo de área o desarrollo</b>	<b>C</b>
<b>Tipo de área</b>	
Techos de edificios	0,80-0,95
Pavimentos de asfalto o concreto	0,70-0,95
Pavimento de ladrillos	0,70-0,80
<b>Tipo de desarrollo</b>	
Comercios urbanos	0,70-0,95
Oficinas comerciales	0,50-0,70
Casas unifamiliares	0,30-0,50
Condominios	0,40-0,60
Apartamentos	0,60-0,80
Residencias suburbanas	0,25-0,40
Parques y cementerios	0,10-0,30

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2010)

- b. La intensidad de la lluvia: Para determinar la intensidad de la lluvia se requiere información meteorológica propia del área en que se localiza el invernadero.
- c. Periodo de retorno: Se recomienda utilizar como mínimo un periodo de retorno de 5 años.
- d. Tiempo de concentración: En áreas pequeñas, menores a 1Ha, el tiempo es pequeño se puede suponer menor de cinco minutos. Una vez determinado este tiempo, la intensidad de la lluvia en el sitio se puede obtener con la figura 2-13, en donde se muestra las isoyetas para lluvias con un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 15 minutos.



**Figura 2-17: Lluvias máximas anuales**

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2010)

### **Diseño de la canoa**

En este caso el diseño de la canoa al ser considerado como un canal revestido no erosionable los factores como la velocidad máxima permisible y la fuerza tractiva permisible no forman son criterios determinantes.

Para el diseño se calculan las dimensiones del canal mediante una ecuación de flujo uniforme y se decide acerca de las dimensiones finales.

Según Ven Te Chow (1994) los factores que se consideran en el diseño son: la clase de material el cual determina el coeficiente de rugosidad, la velocidad mínima permisible, la pendiente del fondo del canal, pendientes laterales, borde libre y sección más eficiente.

- ✓ Velocidad mínima permisible: Es la menor velocidad que no permite el inicio de la sedimentación y no induce al crecimiento de algas o plantas acuáticas
- ✓ Pendiente del fondo del canal: Hay múltiples criterios para decidir sobre este factor entre los que están: la topografía, altura del agua o el propósito, por lo que para este caso se asume una pendiente del 1%. Las pendientes laterales dependen principalmente del tipo de material, para el caso de la canoa estas son verticales.
- ✓ Borde libre: Es la distancia vertical desde la parte superior del canal hasta la superficie del agua en la condición de diseño, este debe de ser lo suficientemente grande para prevenir reboses de agua por encima de los lados.
- ✓ Sección hidráulica óptima: Esta es la sección que da el área mínima para un caudal determinado. La sección de la canoa será rectangular.

**a. Cálculo de las dimensiones de la sección**

Mediante la utilización de la ecuación de Manning y considerando los factores antes expuestos se determinan las dimensiones del canal.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{S} \quad (2.12-2)$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño

n = Coeficiente de Manning (n=0.016 para el hierro galvanizado)

A = Área mojada

R = Radio Hidráulico

S = Pendiente del fondo del canal.

## Diseño del bajante

Según el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2010), para la determinación de los diámetros de los bajantes de desagüe de aguas de lluvia se utilizará la tabla 2-22.

**Tabla 2-20: Caudales máximos en bajantes de desagüe de aguas de lluvia**

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Caudal máximo (l/s)</b>
50	0,90
63,5	1,65
75	2,50
100	5,10
125	8,95
150	14,10
200	28,95

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (2010)

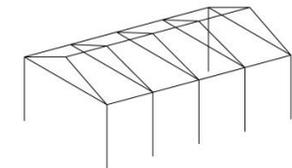
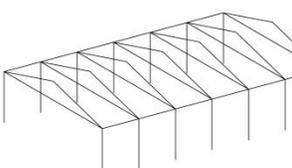
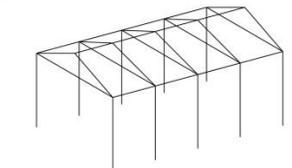
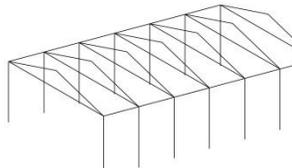
Como regla práctica se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo.

## Capítulo 3

### Metodología de diseño y resultados

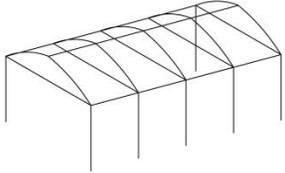
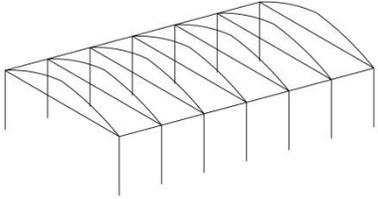
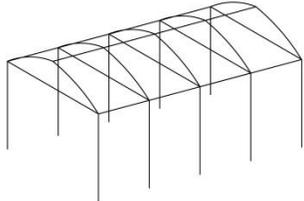
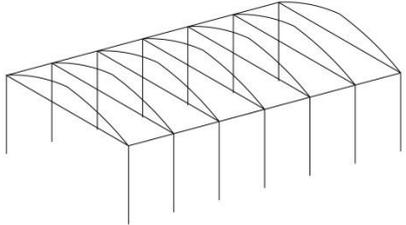
Basándose en las cargas, características de los materiales, normativa aplicable, métodos constructivos y el óptimo desempeño agronómico de la estructura, se propusieron las dimensiones y elementos soportantes para dos formas de invernaderos, marco a dos aguas y arco semi-circular, para cada una de estas formas se propuso cuatro prototipos para ser analizados y diseñados.

**Tabla 3-1: Prototipos para el techo a dos aguas**

<b>Prototipo</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura a canoa (m)</b>	<b>Separación entre marcos (m)</b>	<b>Gráfico</b>
1	6	4	3	
2	9	4	3	
3	6	5	3	
4	9	5	3	

Fuente: Autor

**Tabla 3-2: Prototipos para el techo en arco**

<b>Prototipo</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura a canoa (m)</b>	<b>Separación entre marcos (m)</b>	<b>Gráfico</b>
1	6	4	3	
2	9	4	3	
3	6	5	3	
4	9	5	3	

Fuente: Autor

El diseño en lo referente al acero laminado en frío, cimentaciones y cálculo de cargas se realizó manualmente, para el análisis de las fuerzas y reacciones obtenidas de la estructura se utilizó el software SAP2000 con la licencia del laboratorio de cómputo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

La información recopilada mediante búsqueda bibliográfica fue complementada con visitas técnicas a invernaderos tanto industriales como artesanales, así como entrevistas con propietarios, especialistas, constructores y distribuidores.

El proceso de diseño se realizó de la siguiente manera para cada uno de los dimensionamientos propuestos.

### **1. Estabilidad de la estructura**

Lo primero a considerar para iniciar el diseño de un invernadero consiste en establecer una configuración de marco tal que, está logre mantenerse estable antes las condiciones de carga que estará sometida, para esto debe de considerarse el apartado 2.5 “Estabilidad estructural” la ecuación 2.5-1, la que establece que:

$$3D >, =, < B + 2A + 3S + V_{ap}$$

Para este caso, en la figura 2-6 se tiene: 3 discos, 2 articulaciones, 2 barras y 6 vínculos de apoyo y según la ecuación se obtiene:

$$3 * 3 >, =, < 2 + 2 * 2 + 3 * 0 + 6 \rightarrow 9 < 12$$

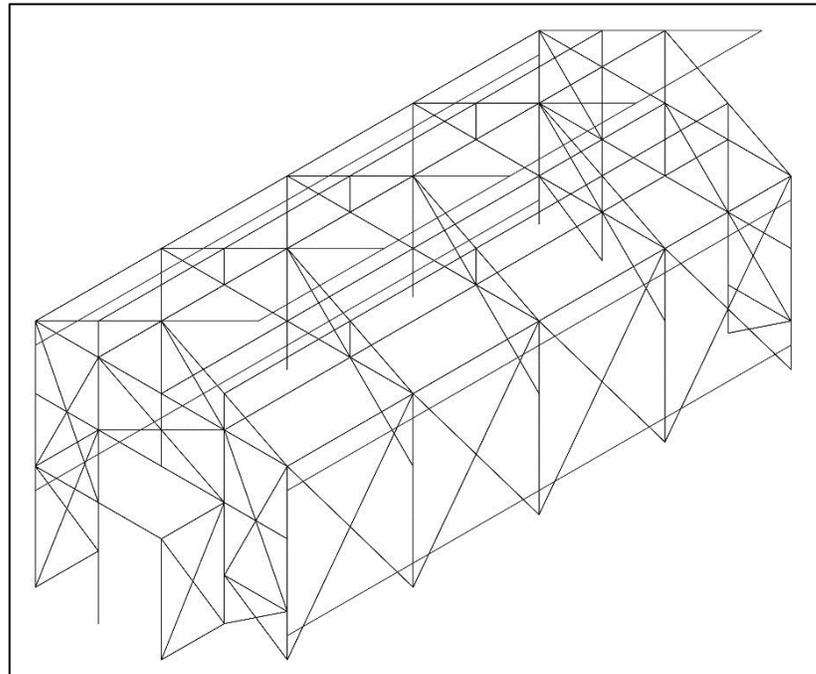
Esto implica que para el signo de desigualdad inferior el sistema es *invariante e hiperestático*.

El cumplimiento de esta ecuación es necesario, sin embargo no es una garantía de que el sistema sea estable lo que hace necesario que se analice la inestabilidad geométrica.

En este caso, la configuración del marco propuesta no presenta situaciones de inestabilidad geométrica, por lo que la estructura es estable ante las condiciones de carga.

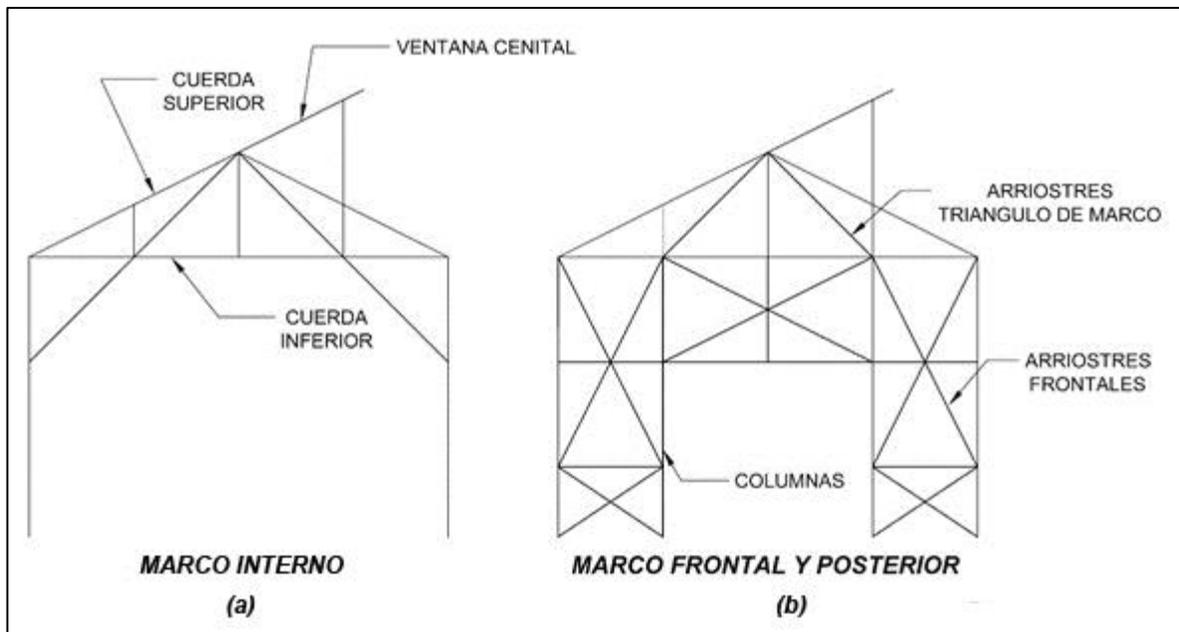
### **2. Configuración de la estructura propuesta**

Se inició con una primera iteración para los perfiles de hierro galvanizado con el fin de tener un punto de partida para el cálculo de cargas y esfuerzos, luego estas secciones son revisadas para que cumplan con las condiciones del diseño de acero laminado en frío y sean el diseño final de la estructura.



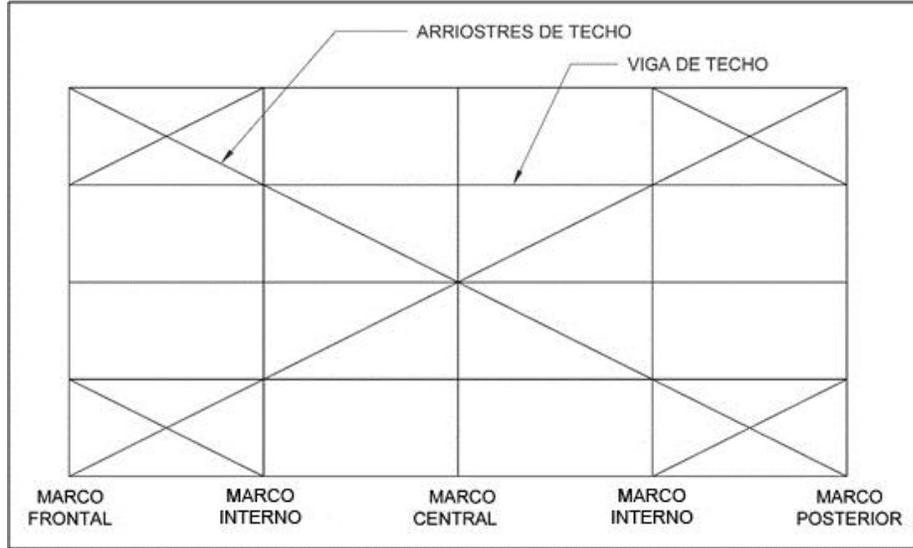
**Figura 3-1: Vista isométrica del prototipo 1**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011



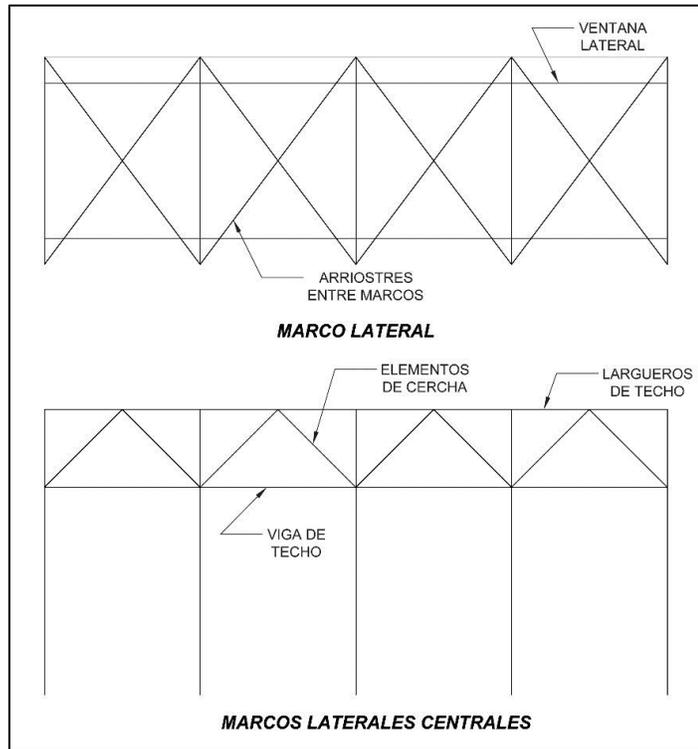
**Figura 3-2: Vista frontal de los marcos para el prototipo 1**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011



**Figura 3-3: Vista superior del invernadero a la altura de 4m**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011



**Figura 3-4: Distribución de marcos laterales**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

### 3. Cargas permanentes, temporales y accidentales

#### 3.1.Carga permanente

Esta es la carga referente al peso propio de la estructura y del material de cerramiento, en este caso el plástico. Para esto se realiza la sumatoria de los pesos con las secciones y dimensiones propuestas.

##### a. Marco Frontal

Para este marco se tiene la configuración mostrada en la figura 3-3(b) y en la siguiente tabla se muestra el resumen de pesos y secciones para este marco el cual incluye la puerta de ingreso.

**Tabla 3-3: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	20,0	24,1	4,0	80,4
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,2	16,9	2,8	20,4
Arriostres Frontales	50x50	1,8	36,3	16,9	2,8	102,4
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,7	24,1	4,0	26,9
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,5	16,9	2,8	9,8
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,0	16,9	2,8	28,2
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,7	16,9	2,8	18,9
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,5	24,1	4,0	30,2
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,5	16,9	2,8	12,7
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,5	16,9	2,8	15,4
<i><b>Puerta de Acceso</b></i>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,5	16,9	2,8	21,1
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,7	16,9	2,8	32,8
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>450,3</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>		<b>Peso Total Aportado al Marco</b>	<b>462,4 kg</b>
920	0,0002	65,55	12,1			

Fuente: Autor

### b. Marco Posterior

Este marco es igual al frontal mostrado en la figura 3-3(b) sin embargo a éste no se le asigna el peso de la puerta de acceso.

**Tabla 3-4: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	20,0	24,1	4,0	80,4
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,2	16,9	2,8	20,4
Arriostres Frontales	50x50	1,8	36,3	16,9	2,8	102,4
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,7	24,1	4,0	26,9
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,5	16,9	2,8	9,8
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,0	16,9	2,8	28,2
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,7	16,9	2,8	18,9
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,5	24,1	4,0	30,2
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,5	16,9	2,8	12,7
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,5	16,9	2,8	15,4
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>379,4</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	Peso Total Aportado al Marco		389,2 kg
920	0,0002	53,55	9,8			

Fuente: Autor

### c. Marcos Internos y Central

Para estos marcos se tiene la configuración mostrada en la figura 3-3(a) y en las siguientes tablas se muestra el resumen de pesos y secciones para estos marcos según su área tributaria.

**Tabla 3-5: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,0	24,1	4,0	32,2
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,2	16,9	2,8	20,4
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,2	16,9	2,8	11,9
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,7	24,1	4,0	26,9
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,9
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,0	16,9	2,8	14,0
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,0	16,9	2,8	33,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,0	16,9	2,8	56,4
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,0	16,9	2,8	28,3
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,0	24,1	4,0	60,3
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,0	16,9	2,8	25,3
Elementos de Cercha	50x50	1,8	10,9	16,9	2,8	30,8
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>357,7</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>366,9 kg</b>
920	0,0002	50,1	9,2			

Fuente: Autor

**Tabla 3-6: Descripción de secciones y pesos para el marco central**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,0	24,1	4,0	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,2	16,9	2,8	20,417
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,2	16,9	2,8	11,960
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,7	24,1	4,0	26,988
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,0	16,9	2,8	16,914
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,0	16,9	2,8	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,0	16,9	2,8	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,0	16,9	2,8	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,7	16,9	2,8	18,911
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,0	24,1	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,0	16,9	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	10,9	16,9	2,819	30,871
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>348,264</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>357,482 kg</b>
920	0,0002	50,1	9,218			

Fuente: Autor

Con lo expuesto en las Tablas 3-3 a 3-6 se determina que el peso total del hierro galvanizado para el prototipo 1 es de 1893,3 kg y el peso del hierro galvanizado más el plástico de cerramiento es de 1942,9 kg.

El prototipo 1 tiene un área de 72m<sup>2</sup> y un volumen de 342 m<sup>3</sup>, al combinar estos datos con los pesos del invernadero se tiene que la cantidad de hierro galvanizado por metro cuadrado es de 26,98 kg/m<sup>2</sup> y la cantidad de hierro galvanizado por metro cubico es de 5,536 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.Carga Temporal

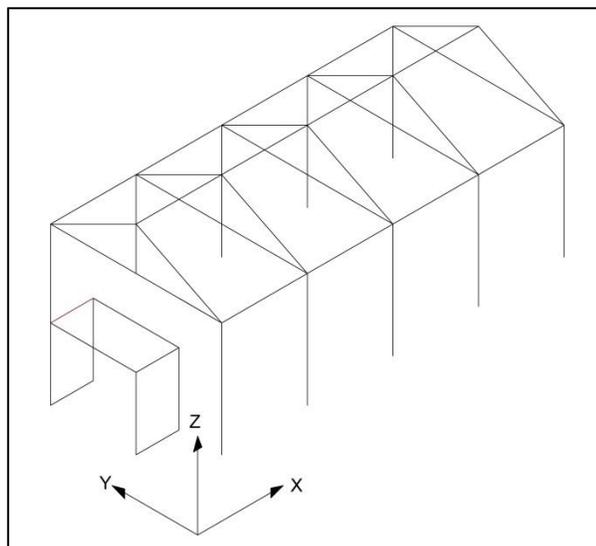
Esta carga se debe a la suma de las fuerzas que ejercen el personal de mantenimiento y construcción, la cual se estima en dos trabajadores apoyados sobre el marco con un peso de 90 kg cada uno, la carga colateral la cual se trata de aquellos equipos que están instalados en la estructura como los motores, mallas, sistemas hidráulicos, entre otros, se estima en  $10 \text{ kg/m}^2$  y la carga de materia vegetal referente a aquellos cultivos que requieren de algún tipo de tutorado el cual está apoyado en el invernadero, esta carga se estima en  $10 \text{ kg/m}^2$ .

El total de la carga viva sobre el invernadero es de  $20 \text{ kg/m}^2$  más el peso de los operarios la cual se trabaja como una carga puntual sobre los marcos. La distribución de fuerzas para cada marco se realizó por el método de áreas tributarias.

### 3.3.Carga Accidentales

#### Carga de Sismo

La fuerza de sismo debe ser calculada para los ejes “x” y “y” según se muestra en la figura 3-5. La descripción de pesos y secciones descrita anteriormente es utilizada para el cálculo de la fuerza sísmica en la dirección “y”, para la fuerza en “x” se tiene la siguiente descripción



**Figura 3-5: Dirección para el cálculo de la fuerza sísmica**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

**Tabla 3-7: Descripción de Secciones y Pesos para el Cálculo de la Fuerza Sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	32,0	24,1	4,0	128,7
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	18,1	16,9	2,8	51,0
Arriostres Frontales	50x50	1,8	42,7	16,9	2,8	120,4
Cuerda Superior	72x72	1,8	16,8	24,1	4,0	67,5
Cuerda Inferior	50x50	1,8	15,0	16,9	2,8	42,2
Ventana Cenital	50x50	1,8	11,0	16,9	2,8	31,0
Ventana Lateral	50x50	1,8	24,0	16,9	2,8	67,6
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	40,0	16,9	2,8	112,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8	20,1	16,9	2,8	56,7
Largueros de Techo	72x72	1,8	30,0	24,1	4,0	120,7
Vigas de Techo	50x50	1,8	18,0	16,9	2,8	50,7
Elementos de Cercha	50x50	1,8	21,9	16,9	2,8	61,7
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,7	16,9	2,8	10,5
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,0	16,9	2,8	8,4
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,8	16,9	2,8	16,4
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>946,7</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>971,5 kg</b>
920	0,0002	134,7	24,8			

Fuente: Autor

Con estos pesos se establecen los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza sísmica los cuales se asumen como:

**Tabla 3-8: Parámetros iniciales para el cálculo de la fuerza sísmica**

Tipo de suelo	S3
Tipo de zona	III
Aceleración pico efectiva	0,36
Factor de importancia (I)	0,75
Clasificación del sistema estructural	Dual
Ductilidad global asignada	3
SR	2
Periodo (T= 0,08N)	0,08
FED	1,079
Coefficiente Sísmico	0,1404

Fuente: Autor

### Fuerza de Sismo en “y”

**Tabla 3-9: Fuerzas de sismo para cada marco**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	460,09	64,60	64,60
Posterior	386,94	54,33	54,33
Internos	376,54	52,87	52,87
Central	367,09	51,54	51,54

Fuente: Autor

### Fuerza de Sismo en “x”

**Tabla 3-10: Fuerza de Sismo para el marco lateral**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	983,61	138,1	138,1

Fuente: Autor

Las fuerzas de sismo son distribuidas de manera proporcional dependiendo de su inercia, en cada columna como una fuerza puntual dirigida según la dirección del sismo.

## Carga de Viento

Para el cálculo de las fuerzas de viento se utilizó el método direccional, el cual considera el viento en dos direcciones “x” y “y”, y se encuentra descrito en el ASCE-7 del 2010.

Este procedimiento clasifica las edificaciones según el área de aberturas como: edificios abiertos, edificios parcialmente cerrados y edificios cerrados, para el caso de los invernaderos se consideraron las tres clasificaciones debido a que es posible tener estas condiciones dependiendo del estado del cerramiento, si tiene las ventanas cerradas o no al momento de la ráfaga y si cuenta con malla antiáfidos.

Siguiendo esta metodología se definieron los siguientes parámetros relacionados con el entorno de la estructura:

**Tabla 3-11: Factores para el cálculo de la fuerza de viento**

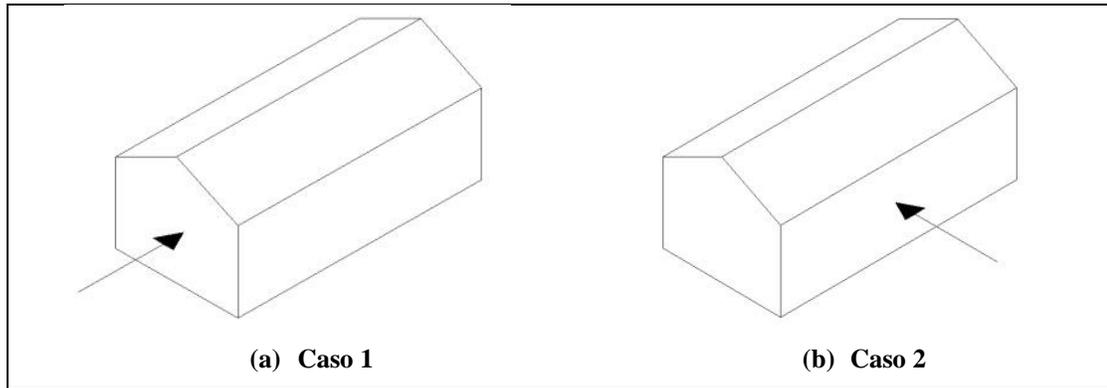
<b>Categoría de Riesgo</b>	I
<b>Factor de Direccionalidad del Viento (<math>K_d</math>)</b>	0,85
<b>Rugosidad de Superficie</b>	C
<b>Categoría de Exposición</b>	B
<b>Efectos Topográficos (<math>K_{zt}</math>)</b>	1

Fuente: Autor

## Requerimientos Generales

- a. **Edificios de baja altura:** Para el caso de los invernaderos cumplen con esta clasificación ya que la altura promedio “h” del techo es menor a 18m y no excede la menor dimensión horizontal.
- b. **Edificios con forma regular:** Son aquellas edificaciones que no tienen una forma geométrica irregular.
- c. **Edificios rígidos:** Se trata de aquellas construcciones que tienen una frecuencia natural igual o mayor a 1Hz, en donde para este caso el invernadero cuenta con 2,47Hz.

d. **Designaciones para las direcciones del viento:** De aquí en adelante se designa como: caso 1 y caso 2, las trayectorias del viento que considera el procedimiento direccional de la siguiente manera:



**Figura 3-6: Designaciones para dirección del viento**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

### Factor de Ráfaga de Viento (G)

El factor de ráfaga para edificios rígidos puede ser considerado como 0,85, o bien calculado a partir de la ecuación 2.7-2, de la siguiente manera:

**Tabla 3-12: Factor de ráfaga para el caso 1**

Factor	Valor	Unidades
<b>h</b>	4,75	m (Altura promedio del edificio)
	15,58	ft
<b>z</b>	9,35	ft (Altura máxima del edificio)
<b>z<sub>min</sub></b>	30	ft (Tabla 2.3)
<b>c</b>	0,3	Tabla 2.3
<b>I<sub>z</sub></b>	0,30	Ecuación 2.7-3
<b>g<sub>O</sub>, g<sub>v</sub></b>	3,4	Valor asignado por ASCE
<b>l</b>	320	ft (Tabla 2.3)
<b>ε</b>	0,33	ft (Tabla 2.3)
<b>L<sub>z</sub></b>	309,99	ft
<b>B</b>	6	m (Frente a dirección del viento)
	19,68	ft
<b>Q</b>	0,93	Adimensional
<b>G</b>	0,88	Adimensional

Fuente: Autor

Tabla 3-13: Factor de ráfaga para el caso 2

Factor	Valor	Unidades
<b>h</b>	4,75	m (Altura promedio del edificio)
	15,58	ft
<b>z</b>	9,35	ft (Altura máxima del edificio)
<b>z<sub>min</sub></b>	30	ft (Tabla 2.3)
<b>c</b>	0,3	Tabla 2.3
<b>I<sub>z</sub></b>	0,30	Ecuación 2.7-3
<b>g<sub>Q</sub>, g<sub>v</sub></b>	3,4	Valor asignado por ASCE
<b>l</b>	320	ft (Tabla 2.3)
<b>ε</b>	0,33	ft (Tabla 2.3)
<b>L<sub>z</sub></b>	309,99	ft
<b>B</b>	12	m (Frente a dirección del viento)
	39,37	ft
<b>Q</b>	0,91	Adimensional
<b>G</b>	0,87	Adimensional

Fuente: Autor

Según el porcentaje de aperturas los invernaderos se pueden clasificar con: edificios parcialmente cerrados, cerrados y abierto

### Edificios parcialmente cerrados

#### a. Generalidades

Se definen los siguientes factores:

Tabla 3-14: Coeficiente para edificios parcialmente cerrados

<b>Coeficiente de Presión Interna (GC<sub>pi</sub>)</b>	+0,55	Tabla 2-4
	-0,55	
<b>Área de Aberturas</b>	108	m <sup>2</sup>
	1162,47	ft <sup>2</sup>
<b>Volumen Total</b>	342	m <sup>3</sup>
	12077,18	ft <sup>3</sup>
<b>R<sub>i</sub></b>	0,999	Reducción para edificios de gran volumen
<b>R<sub>i</sub> a utilizar</b>	1	

Fuente: Autor

### b. Presión de Velocidad

Esta presión se determina basándose en la categoría de exposición y la altura del edificio.

**Tabla 3-15: Coeficientes para la presión de velocidad**

Factor	Valor	Unidades
<b>z</b>	4	m (Altura a la canoa)
	13,31	ft
<b>h</b>	4,75	m (Altura promedio del edificio)
	15,81	ft
<b><math>\alpha</math></b>	7	ft (Tabla 2-3)
<b><math>z_g</math></b>	1200	ft (Tabla 2-3)
<b><math>K_z</math></b>	0,575	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_h</math></b>	0,583	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_z=K_h</math></b>	0,579	
<b><math>q_z=q_h</math></b>	4,844	lb/ft <sup>2</sup> (Ecuación 2.7-8)
	23,648	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Debido a la poca diferencia entre las alturas de  $z$  y  $h$  presente en los invernaderos, la NGMA permite que se considere como  $z=h$ .

### c. Presiones sobre las superficies

Se obtienen los coeficientes de presión externa basados en la tabla 2-6 y con la ecuación 2.7-9, se tienen las siguientes presiones:

**Tabla 3-16: Presiones en las paredes para el caso 1**

Superficie	$C_p$	$q$	$G$	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,55	-0,55	
Barlovento	0,8	4,84	0,88	0,76	6,08	29,71
Sotavento	-0,3	4,84	0,88	-3,95	1,38	19,27
Lateral	-0,7	4,84	0,88	-5,66	-0,33	27,62

Fuente: Autor

**Tabla 3-17: Presiones en el techo para el caso 1**

Superficie	$C_p$	$q$	$G$	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				0,55	-0,55	
Izquierda	-0,9	4,84	0,88	-6,51	-1,18	31,79
Derecha	-0,18	4,84	0,88	-3,43	1,89	16,76

Fuente: Autor

**Tabla 3-18: Presiones en las paredes para el caso 2**

Superficie	C <sub>p</sub>	q	G	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,55	-0,55	
Barlovento	0,80	4,84	0,87	0,71	6,04	29,48
Sotavento	-0,50	4,84	0,87	-4,77	0,55	23,30
Lateral	-0,70	4,84	0,87	-5,62	-0,29	27,42

Fuente: Autor

**Tabla 3-19: Presiones en el techo para el caso 2**

Superficie	C <sub>p</sub>	q	G	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,55	-0,55	
Barlovento	0,20	4,84	0,87	-1,82	3,51	17,13
	-0,20	4,84	0,87	-3,51	1,82	17,13
Sotavento	-0,60	4,84	0,87	-5,20	0,13	25,36

Fuente: Autor

En la ecuación 2.7-9 se deben evaluar ambos valores del coeficiente de presión interna y mantenerse el máximo valor absoluto para la presión sobre la superficie.

Según el área de aperturas los invernaderos pueden clasificarse como: edificios cerrados, edificios parcialmente cerrados y edificios abiertos, para los cuales el procedimiento de cálculo se muestra a continuación.

### Edificios cerrados

#### a. Generalidades

Se definen los siguientes factores:

**Tabla 3-20: Coeficientes para edificios cerrados**

<b>Coficiente de Presión Interna</b>	+0,18	Tabla 2-4
	-0,18	
<b>Área de Aberturas</b>	0	m <sup>2</sup>
	0	ft <sup>2</sup>
<b>Volumen Total</b>	342	m <sup>3</sup>
	12077,18	ft <sup>3</sup>
<b>R<sub>i</sub></b>	-	Reducción para edificios de gran volumen
<b>R<sub>i</sub> a utilizar</b>	-	

Fuente: Autor

### b. Presión de Velocidad

Esta presión se determina basándose en la categoría de exposición y la altura del edificio.

**Tabla 3-21: Coeficientes para la presión de velocidad**

Factor	Valor	Unidades
<b>z</b>	4	m (Altura a la canoa)
	13,31	ft
<b>h</b>	4,75	m (Altura promedio del edificio)
	15,81	ft
<b><math>\alpha</math></b>	7,00	ft (Tabla 2-3)
<b><math>z_g</math></b>	1200,00	ft (Tabla 2-3)
<b><math>K_z</math></b>	0,57	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_h</math></b>	0,58	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_z=K_h</math></b>	0,58	
<b><math>q_z=q_h</math></b>	4,84	lb/ft <sup>2</sup> (Ecuación 2.7-8)
	23,65	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Debido a la poca diferencia entre las alturas de  $z$  y  $h$  presente en los invernaderos, la NGMA permite que se considere como  $z=h$ .

### c. Presiones sobre las superficies

Se obtienen los coeficientes de presión externa basados en la tabla 2-6 y con la ecuación 2.7-9, se tienen las siguientes presiones:

**Tabla 3-22: Presiones en las paredes para el caso 1**

Superficie	$C_p$	$q$	$G$	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,18	-0,18	
Barlovento	0,80	4,84	0,88	2,55	4,29	20,96
Sotavento	-0,30	4,84	0,88	-2,15	-0,41	10,52
Lateral	-0,70	4,84	0,88	-3,86	-2,12	18,87

Fuente: Autor

**Tabla 3-23: Presiones en el techo para el caso 1**

Superficie	$C_p$	$q$	$G$	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,18	-0,18	
Izquierda	-0,90	4,84	0,88	-4,72	-2,98	23,04
Derecha	-0,18	4,84	0,88	-1,64	0,10	8,01

Fuente: Autor

**Tabla 3-24: Presiones en las paredes para el caso 2**

Superficie	C <sub>p</sub>	q	G	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,18	-0,18	
Barlovento	0,80	4,84	0,87	2,50	4,25	20,73
Sotavento	-0,50	4,84	0,87	-2,98	-1,24	14,55
Lateral	-0,70	4,84	0,87	-3,82	-2,08	18,67

Fuente: Autor

**Tabla 3-25: Presiones en el techo para el caso 2**

Superficie	C <sub>p</sub>	q	G	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )
				+0,18	-0,18	
Barlovento	0,20	4,84	0,87	-0,03	1,72	8,38
	-0,20	4,84	0,87	-1,72	0,03	8,38
Sotavento	-0,60	4,84	0,87	-3,40	-1,66	16,61

Fuente: Autor

En la ecuación 2.7-9 se deben evaluar ambos valores del coeficiente de presión interna y mantenerse el máximo valor absoluto para la presión sobre la superficie.

### Edificios Abiertos

#### a. Generalidades

Se definen los siguientes factores:

**Tabla 3-26: Coeficientes para edificios abiertos**

<b>Coficiente de Presión Interna (GC<sub>pi</sub>)</b>	0	Tabla 2-4
	0	
<b>Área de Aberturas</b>	144	m <sup>2</sup>
	1549,97	ft <sup>2</sup>
<b>Volumen Total</b>	342	m <sup>3</sup>
	12077,18	ft <sup>3</sup>
<b>R<sub>i</sub></b>	0,999	Reducción para edificios de gran volumen
<b>R<sub>i</sub> a utilizar</b>	1	

Fuente: Autor

#### b. Presión de Velocidad

Esta presión de determina basándose en la categoría de exposición y la altura del edificio.

**Tabla 3-27: Coeficientes para la presión de velocidad**

<b>z</b>	4,00	m (Altura a la canoa)
	13,31	ft
<b>h</b>	4,75	m (Altura promedio del edificio)
	15,81	ft
<b><math>\alpha</math></b>	7,00	ft (Tabla 2-3)
<b><math>z_g</math></b>	1200,00	ft (Tabla 2-3)
<b><math>K_z</math></b>	0,57	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_h</math></b>	0,58	Ecuación 2.7-6 o 2.7-7
<b><math>K_z=K_h</math></b>	0,58	
<b><math>q_z=q_h</math></b>	4,84	lb/ft <sup>2</sup> (Ecuación 2.7-8)
	23,65	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Debido a la poca diferencia entre las alturas de  $z$  y  $h$  presente en los invernaderos, la NGMA permite que se considera como  $z=h$ .

**c. Presiones sobre las superficies**

Se obtienen los coeficientes de presión externa basados en la tabla 2-8 a las 2-11 y con la ecuación 2.7-10, se tienen las siguientes presiones:

**Tabla 3-28: Presiones para edificios abiertos para el caso 1**

Caso de Carga	Factor de Ráfaga G	Presión (lb/ft <sup>2</sup> )		Presión (kg/m <sup>2</sup> )	
		Viento Libre	Viento Obstruido	Viento Libre	Viento Obstruido
A	0,883	-1,28	-2,57	-6,26	-12,53
B	0,883	1,28	1,28	6,26	6,26

Fuente: Autor

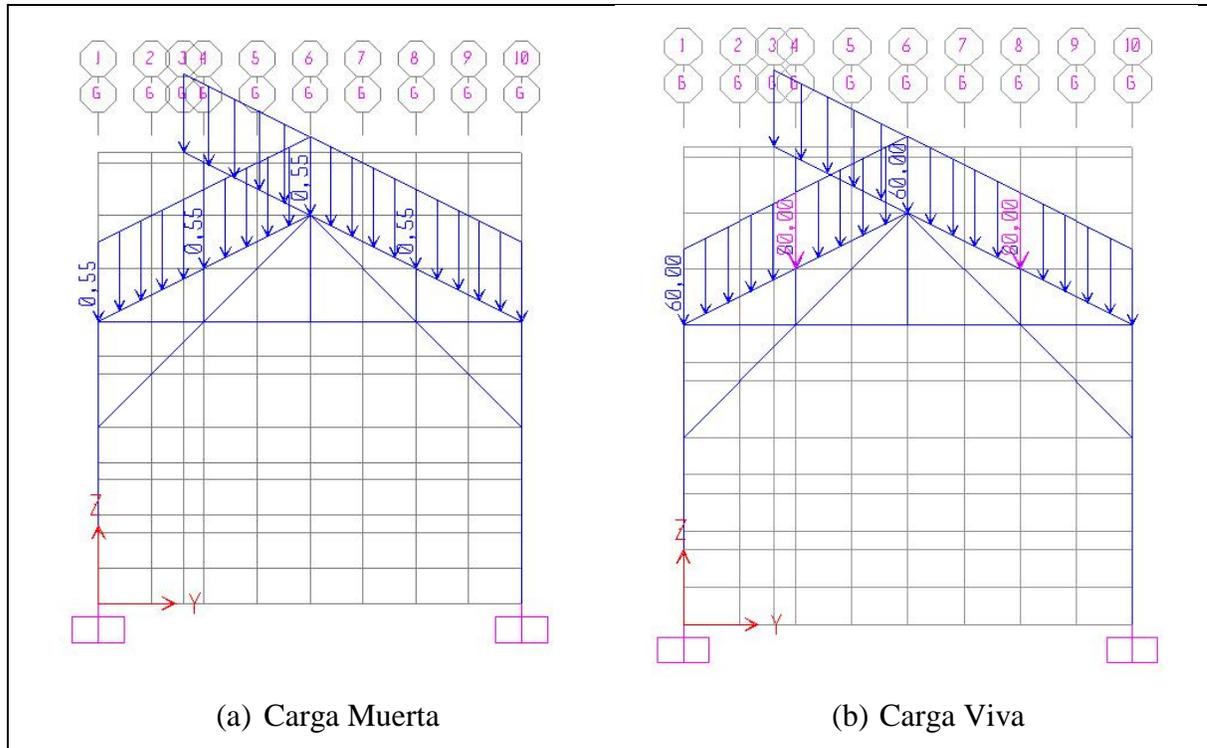
**Tabla 3-29: Presiones para edificios abiertos para el caso 2**

Caso de Carga	Presiones (kg/m <sup>2</sup> )			
	Viento Libre		Viento Obstruido	
	Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
A	22,66	2,06	-24,72	-24,72
B	-2,06	-16,48	-16,48	-35,01

Fuente: Autor

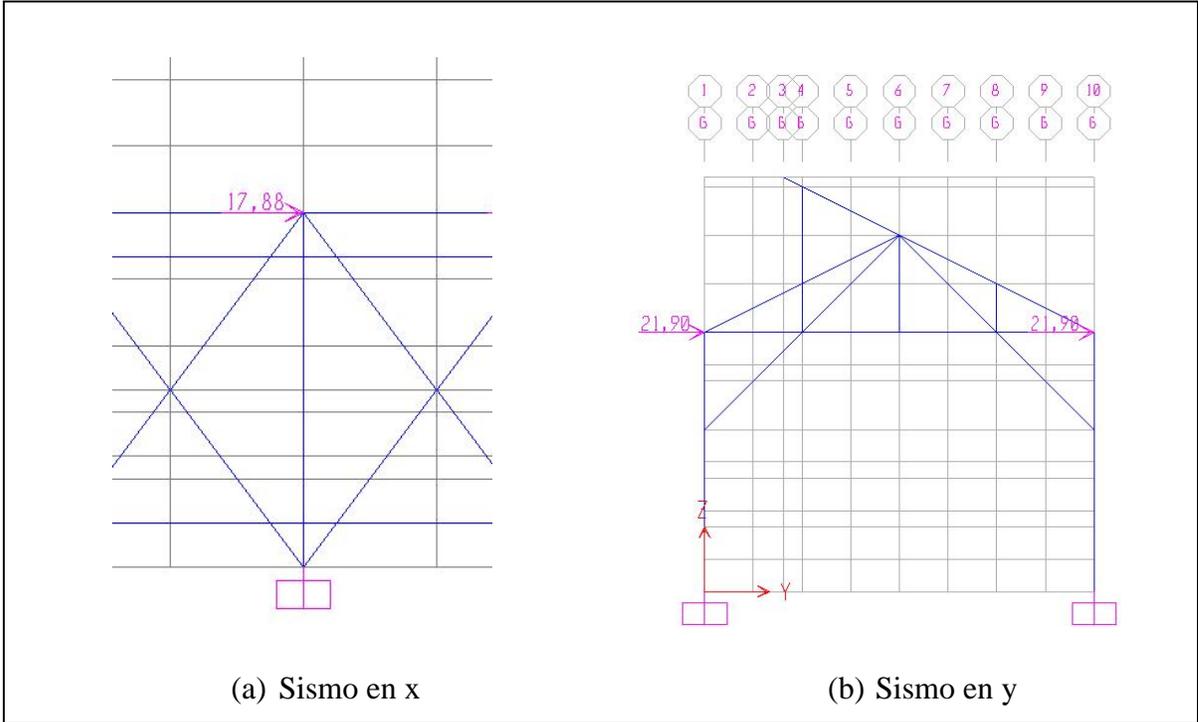
#### 4. Diagramas obtenidos de SAP2000 para el marco central

En los siguientes diagramas se muestra como fueron introducidas las cargas para el dimensionamiento de ancho 6m, altura 4m y largo 12m. Estos diagramas se muestran específicamente para el marco central.



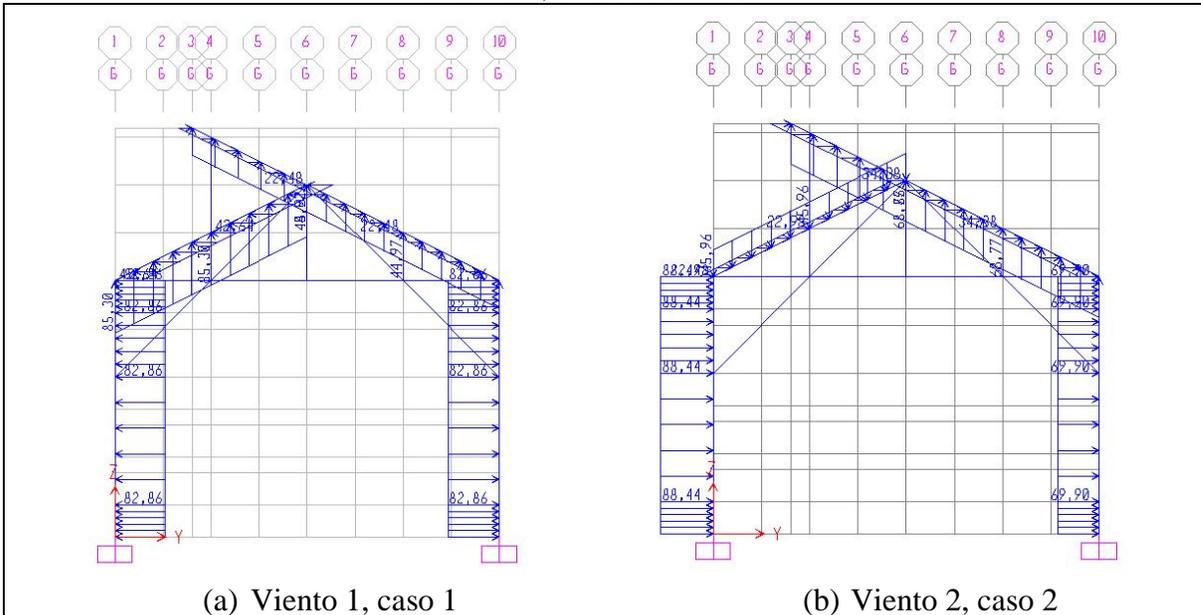
**Figura 3-7: Carga muerta y viva para el marco central (unidades en kgf-m)**

Fuente: Autor, tomado de SAP 2000 v14



**Figura 3-8: Cargas de sismo para el marco central (unidades en kgf)**

Fuente: Autor, tomado de SAP 2000 v14



**Figura 3-9: Carga de viento para edificios parcialmente cerrado (unidades en kgf-m)**

Fuente: Autor, tomado de SAP 2000 v14



### **Diagramas de momentos y cortante para el marco central**

Los siguientes diagramas de momento y cortante son para el marco central 2 y muestra los valores para la combinación de carga de la envolvente, la cual considera los valores máximos de las demás combinaciones de carga.

Las combinaciones de carga consideradas para el diseño son:

1.  $CU = 1.4*CP$
2.  $CU = 1.2*CP + 1.6*CT$
3.  $CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(1)$
4.  $CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(2)$
5.  $CU = 1.2*CP + 0.8*CV(1)$
6.  $CU = 1.2*CP + 0.8*CV(2)$
7.  $CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(1)$
8.  $CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(2)$
9.  $CU = 1.05*CP + 0.5*CT + CS(x)$
10.  $CU = 1.05*CP + 0.5*CT - CS(x)$
11.  $CU = 1.05*CP + 0.5*CT + CS(y)$
12.  $CU = 1.05*CP + 0.5*CT - CS(y)$
13.  $CU = 0.95*CP + 1.6*CV(1)$
14.  $CU = 0.95*CP + 1.6*CV(2)$
15.  $CU = 0.95*CP + CS(x)$
16.  $CU = 0.95*CP - CS(x)$
17.  $CU = 0.95*CP + CS(y)$
18.  $CU = 0.95*CP - CS(y)$
19.  $CU = CP + CT + CV(1)$
20.  $CU = CP + CT + CV(2)$
21.  $CU = CP + CT + CS(x)$
22.  $CU = CP + CT - CS(x)$
23.  $CU = CP + CT + CS(y)$
24.  $CU = CP + CT - CS(y)$

Para edificios cerrados se añaden las siguientes combinaciones de carga, en donde las cargas son viento (3) para el caso 1 y viento (4) para el caso 2

$$25. CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(3)$$

$$26. CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(4)$$

$$27. CU = 1.2*CP + 0.8*CV(3)$$

$$28. CU = 1.2*CP + 0.8*CV(4)$$

$$29. CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(3)$$

$$30. CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(4)$$

$$31. CU = 0.95*CP + 1.6*CV(3)$$

$$32. CU = 0.95*CP + 1.6*CV(4)$$

$$33. CU = CP + CT + CV(3)$$

$$34. CU = CP + CT + CV(4)$$

Para edificios abiertos se añaden las siguientes combinaciones de carga, en donde las cargas son viento (5) para el caso 1 y viento (6) para el caso 2

$$35. CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(5)$$

$$36. CU = 1.2*CP + 1.6*CT + CV(6)$$

$$37. CU = 1.2*CP + 0.8*CV(5)$$

$$38. CU = 1.2*CP + 0.8*CV(6)$$

$$39. CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(5)$$

$$40. CU = 1.2*CP + 0.5*CT + 1.6*CV(6)$$

$$41. CU = 0.95*CP + 1.6*CV(5)$$

$$42. CU = 0.95*CP + 1.6*CV(6)$$

$$43. CU = CP + CT + CV(5)$$

$$44. CU = CP + CT + CV(6)$$

$$45. Envoltente$$

Dónde:

CU = Carga ultima.

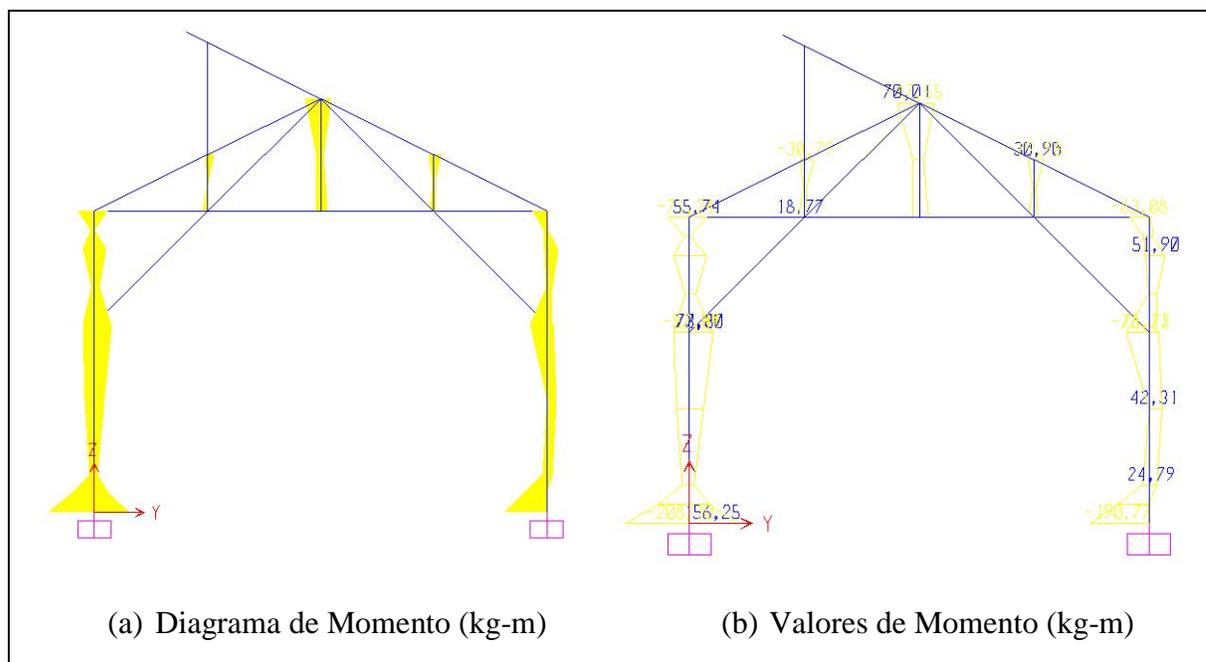
CP = Carga permanente.

CT = Carga temporal.

CV = Carga de viento

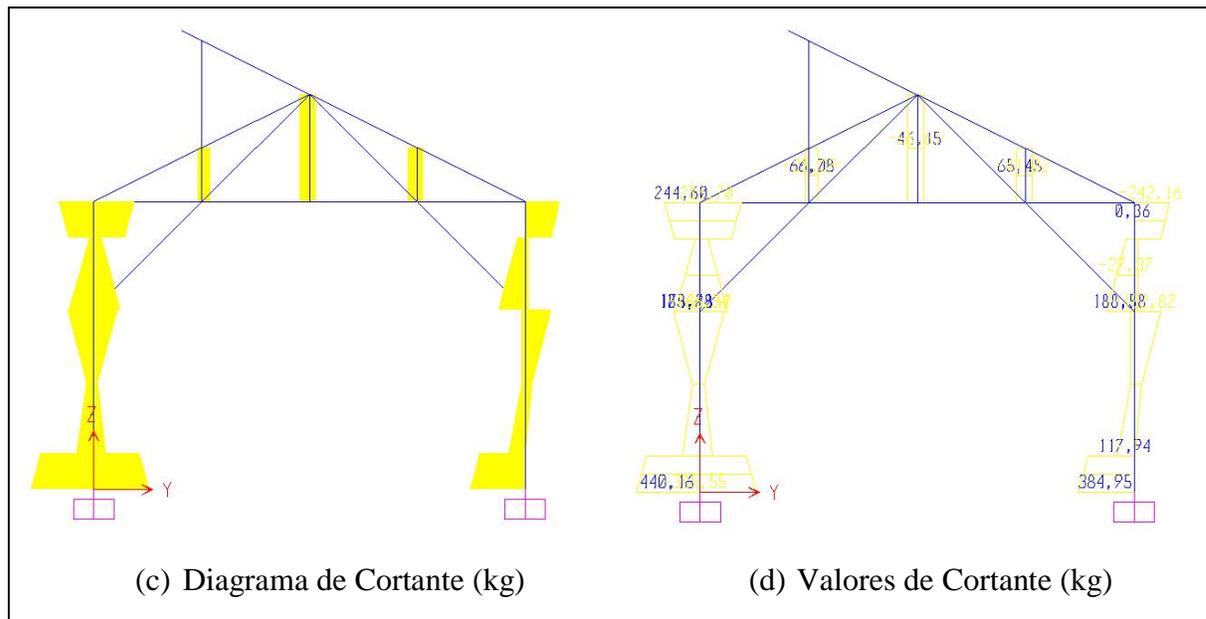
CS (x) = Carga de sismo en x, según la figura 3-5

CS (y) = Carga de sismo en y, según la figura 3-5



**Figura 3-12: Momento para el marco central (Combinación envolvente)**

Fuente: Autor, tomado de SAP2000 v14



**Figura 3-13: Cortante para el marco central (Combinación envolvente)**

Fuente: Autor, tomado de SAP2000 v14

## 5. Diseño de acero laminado en frío.

Para el diseño de acero se dividió el invernadero en 15 secciones, de las cuales se seleccionó el elemento más esforzado para ser diseñado y de esta manera los demás elementos de una misma sección tendrán la misma sección.

Las secciones que conforman el invernadero son:

**Tabla 3-30: Secciones del Invernadero**

Sección	Abreviatura	Sección	Abreviatura
Columnas	COL #	Arriostres de Techo	ATE #
Arriostres Triangulo de Marco	AT #	Largueros de Techo	LT #
Arriostres Frontales	AF #	Vigas de Techo	VT #
Cuerda Superior	CS #	Elementos de Cercha	EC #
Cuerda Inferior	CI #	Columna de Puerta	CP #
Ventana Cenital	VC #	Viga de Puerta	VP #
Ventana Lateral	VL #	Arriostres de Puerta	AP #
Arriostres entre Marcos	AM #		

Fuente: Autor

## Secciones efectivas

### a. Perfil 72x72x1.8

Tabla 3-31: Propiedades de la sección 72x72x1.8

Dimensión (mm)	72x72
Espesor (cm)	0,18
h (cm)	7,2
d (cm)	7,2
t (cm)	0,18
A (cm <sup>2</sup> )	4,915
I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	39,75
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	39,75
S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	11,04
S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	11,04
r <sub>x</sub> (cm)	2,84
r <sub>y</sub> (cm)	2,84
R = 2t (cm)	0,36
R' (cm)	0,45
L (cm)	0,707
c (cm)	0,287
w (cm)	6,12
w/t	34,000
F <sub>y</sub> (MPa)	227
E(MPa)	203000
k	4
Factor de Esbeltez ( $\lambda$ )	0,598

Fuente: Autor

Dónde:

h = Altura del elemento

d = Ancho del elemento

t = Espesor del elemento

A = Área del elemento

I<sub>x</sub> = Inercia con respecto a x

I<sub>y</sub> = Inercia con respecto a y

S<sub>x</sub> = Modulo de sección respecto a x

S<sub>y</sub> = Modulo de sección respecto a y

$r_x$  = Radio de giro en x

$r_y$  = Radio de giro en y

$R$  = Radio interno del elemento

$R'$  = Radio de línea media

$L$  = Largo del elemento

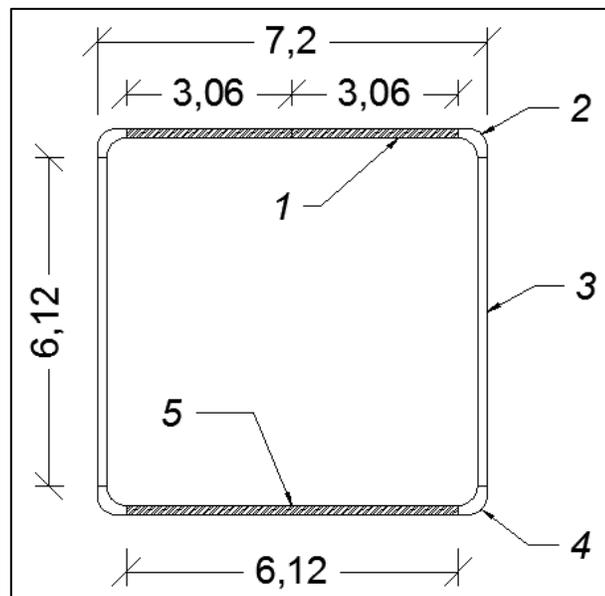
$c$  = Distancia desde el eje centroidal a la fibra más alejada en compresión

$w$  = Ancho del elemento a compresión

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia

$E$  = Modulo de elasticidad

$k$  = Constante de calibración



**Figura 3-14: Sección efectiva del perfil 72x72x1.8 (unidades en cm)**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

**Tabla 3-32: Localización del eje neutro ycg**

Elemento	Área (cm <sup>2</sup> )	Distancia a la fibra “y” más lejana (cm)	Ay (cm <sup>3</sup> )	Ay <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )
1	1,102	0,090	0,099	0,009
2	0,324	0,270	0,087	0,024
3	2,203	3,600	7,932	28,553
4	0,324	6,930	2,245	15,560
5	1,102	7,110	7,832	55,688
<b>Σ</b>	<b>5,054</b>	-	<b>18,196</b>	<b>99,834</b>

<b>ycg</b>	<b>3,600</b>
------------	--------------

Fuente: Autor

**b. Perfil 50x50x1.8**

**Tabla 3-33: Propiedades de la sección 50x50x1.8**

Dimensión (mm)	50x50
Espesor (cm)	0,18
h (cm)	5
d (cm)	5
t (cm)	0,18
A (cm <sup>2</sup> )	3,33
I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	12,6
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	12,6
S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	5,04
S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	5,04
r <sub>x</sub> (cm)	1,94
r <sub>y</sub> (cm)	1,94
R = 2t (cm)	0,36
R' (cm)	0,45
L (cm)	0,707
c (cm)	0,287
w (cm)	3,92
w/t	21,778
F <sub>y</sub> (MPa)	227
E (MPa)	203000
k	4
Factor de esbeltez (λ)	0,383

Fuente: Autor

Dónde:

$h$  = Altura del elemento

$d$  = Ancho del elemento

$t$  = Espesor del elemento

$A$  = Área del elemento

$I_x$  = Inercia con respecto a x

$I_y$  = Inercia con respecto a y

$S_x$  = Modulo de sección respecto a x

$S_y$  = Modulo de sección respecto a y

$r_x$  = Radio de giro en x

$r_y$  = Radio de giro en y

$R$  = Radio interno del elemento

$R'$  = Radio de línea media

$L$  = Largo del elemento

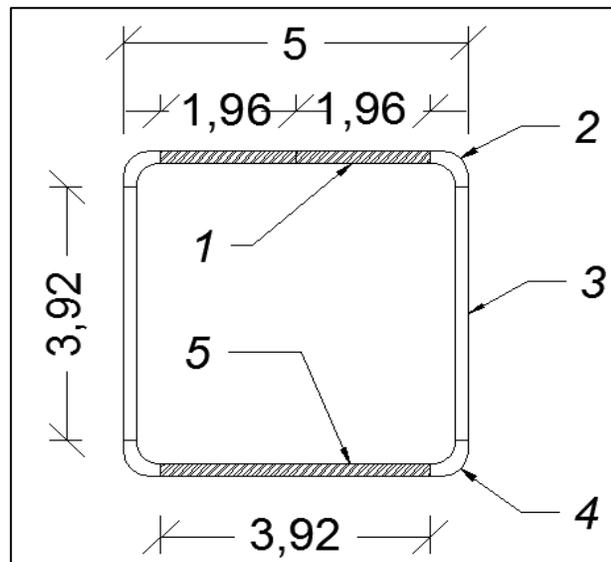
$c$  = Distancia desde el eje centroidal a la fibra más alejada en compresión

$w$  = Ancho del elemento a compresión

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia

$E$  = Modulo de elasticidad

$k$  = Constante de calibración



**Figura 3-15: Sección efectiva del perfil 50x50x1.8 (unidades en cm)**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

**Tabla 3-34: Localización del eje neutro ycg**

Elemento	Área (cm <sup>2</sup> )	Distancia a la fibra “y” más lejana (cm)	Ay (cm <sup>3</sup> )	Ay <sup>2</sup> (cm <sup>4</sup> )
1	0,706	0,090	0,064	0,006
2	0,324	0,270	0,087	0,024
3	1,411	2,500	3,528	8,820
4	0,324	4,730	1,533	7,249
5	0,706	4,910	3,464	17,011
<b>Σ</b>	<b>3,470</b>	<b>-</b>	<b>8,676</b>	<b>33,109</b>
<b>ycg</b>		<b>2,500</b>		

Fuente: Autor

### Valores máximos por sección del invernadero

En la siguiente tabla se muestran los valores máximos con la combinación de carga que los genera para la sección “arriostres de puerta”, las restantes 14 secciones en las que se dividió el prototipo 1 se encuentran en el anexo A. Las celdas resaltadas señalan los valores máximos.

**Tabla 3-35: Valores máximos para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	Vx (kgf)	Vy (kgf)	T (kgf-m)	Mx (kgf-m)	My (kgf-m)
AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,38	2,25	-17,14	-4,07	16	-0,4
AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	-1,92	4,77	0,67	1,97	-1,47
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	157,47	9,11	18,98	2,38	-10,33	-3,6
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-315,22	-7,17	-14,98	-6,41	-20,49	-6,72
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	372,4	5,16	31,75	3,58	29,74	6,3
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	370,72	6,17	31,75	3,58	6,6	2,18
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	369,05	7,17	31,75	3,58	-16,55	-2,68
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-582,36	-0,02078	-17,31	-4,09	-9,1	1,1
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-584,03	0,98	-17,31	-4,09	3,52	0,75
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-585,71	1,99	-17,31	-4,09	16,13	-0,33
AP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	303,82	5,05	11,77	-6,79	4,5	6,59
AP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	301,7	6,32	11,77	-6,79	-4,07	2,45
AP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	299,59	7,59	11,77	-6,79	-12,65	-2,62
AP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-326,92	-7,02	14,94	6,43	20,34	-6,59
AP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-328,59	-6,02	14,94	6,43	9,44	-1,84
AP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-330,27	-5,02	14,94	6,43	-1,45	2,18
AP5	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-337,89	-6,16	-15,26	-6,36	-20,89	-5,5
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	372,4	5,16	31,75	3,58	29,74	6,3
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	161,69	6,57	18,98	2,38	17,34	7,83
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-315,22	-7,17	-14,98	-6,41	-20,49	-6,72

Fuente: Autor, datos de SAP2000

En ninguno de los casos anteriores una combinación de carga que genere un valor máximo incluye sismo, por lo cual esta fuerza no rige el diseño de internaderos y nos es necesario acatar las recomendaciones del CSCR-2010 para las construcciones en acero para las situaciones estudiadas.

### **Revisión de los elementos del internadero según diseño de acero**

Para cada uno de los miembros más esforzados de las 15 secciones se realizó la revisión según el procedimiento descrito en la sección 9 del capítulo 2, en donde se revisó:

- ✓ Flexión
- ✓ Compresión
- ✓ Cortante
- ✓ Tensión
- ✓ Combinación de carga axial y flexión
- ✓ Combinación de carga axial y cortante

En las tablas de la 3-36 a las 3-41 se detalla el procedimiento para la sección “Arriostres de puerta”, las restantes secciones se encuentran en el anexo B.

**Tabla 3-36: Revisión de flexión para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de Carga	Mx	My	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus		wf	L/wf	Ix	Sx	Mn	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus	
		(kgf-m)	(kgf-m)	(kgf-m)		(kgf-m)	Mx	My	(cm)		(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(kgf-m)	(kgf-m)		Mx	My	
AP5	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-20,9	-5,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	29,7	6,3	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	17,3	7,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-20,5	-6,7	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK

Fuente: Autor

**Tabla 3-37: Revisión de compresión para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación	P	Fe	λc	Fn (MPa)	λ	p	b(cm)	Ae (cm <sup>2</sup> )	Carga Nominal	Carga Permissible	P (Kgf)	Estatus
		(Kgf)	(MPa)		λc ≤ 1,5			λ ≤ 0,673; b=w		Pn = Ae*Fn (kgf)	Pa=ΦPn		
AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,4	354,9	0,8	173,7	0,3	1,0	3,9	3,3	5783,5	4916,0	619,4	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	354,9	0,8	173,7	0,3	1,0	3,9	3,3	5783,5	4916,0	477,7	OK

Fuente: Autor

**Tabla 3-38: Revisión de cortante para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	Vx	Vy	Sección	w	t	w/t	kv	E	Fy	Vn	Estatus
		(Kgf)	(Kgf)		(cm)	(cm)			(MPa)	(MPa)	(kgf)	
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	9,11	18,98	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	6,17	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	7,17	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,02	-17,31	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,98	-17,31	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	1,99	-17,31	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK

Fuente: Autor

**Tabla 3-39: Revisión de tensión para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	P	Sección	Fy	Fu	Ag	Tensión nominal		Estatus
		(Kgf)		(MPa)	(MPa)	(cm <sup>2</sup> )	Sección total	Sección neta	
AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,38	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK

Fuente: Autor

**Tabla 3-40: Revisión de combinación carga axial y flexión para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	P	Mx	My	Sección	Ae	Pno	Pn	Pex =	Mnx = Mny	Cm	αx =	Estatus	Revisión	Estatus
		Kgf	Kgf-m	Kgf-m		(cm <sup>2</sup> )	(kgf)	(kgf)	Pey(kgf)	(kgf-m)	αy	Eq. 6,62			
AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,38	16	-0,4	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,1	OK	0,05	OK
AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	1,97	-1,47	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	0,9	OK	0,04	OK
AP5	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-337,89	-20,89	-5,5	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,1	OK	0,03	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	372,4	29,74	6,3	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	0,9	OK	0,04	OK
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	161,69	17,34	7,83	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,0	OK	0,02	OK
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-315,22	-20,49	-6,72	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,0	OK	0,03	OK

Fuente: Autor

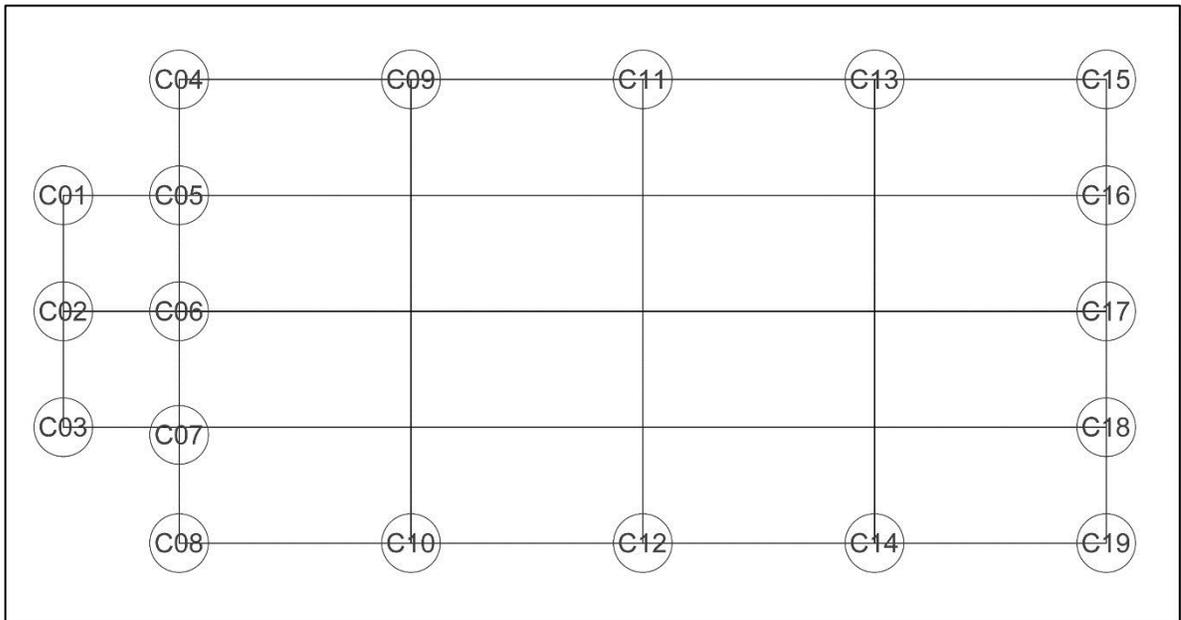
**Tabla 3-41: Revisión de la combinación carga axial y cortante para la sección arriostres de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	M2	M3	Sección	w/t	kv	Vn	Sex	Mnx	Revisión	Revisión
		Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m		(cm <sup>3</sup> )	(kgf-m)	eq 2,9-38	eq 2,9-38			
												Vx -Mx	Vy -My
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	9,11	18,98	-10,33	-3,6	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,02
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	-20,49	-6,72	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	29,74	6,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	6,17	31,75	6,6	2,18	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,04
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	7,17	31,75	-16,55	-2,68	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,02078	-17,31	-9,1	1,1	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,02
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,98	-17,31	3,52	0,75	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,02
AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	1,99	-17,31	16,13	-0,33	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,02
AP5	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-6,16	-15,26	-20,89	-5,5	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	29,74	6,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	6,57	18,98	17,34	7,83	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,03
AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	-20,49	-6,72	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02

Fuente: Autor

## 6. Diseño de Cimientos

Los cimientos son los encargados de darle soporte a la estructura, para este se propusieron zapatas aisladas y corridas según se requiera y la distribución de estos se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3-16: Planta de cimientos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

Con respecto a su carga y a su localización, los cimientos fueron clasificados en dos grupos:

### **Zapatas tipo A.**

Son aquellos en los que la carga axial última no supera los 1800kg. Estos cimientos son: C01, C02, C03, C06, C09, C10, C11, C12, C13, C14 y C17.

En el caso de los invernaderos también se producen importantes reacciones en succión a causa de las fuerzas del viento, que deben de ser contempladas en los diseños.

El cimiento C12 es que el posee la mayor fuerza axial en compresión de 1764 kg y en succión de 817 kg así como los mayores momentos, por lo tanto es el que rige el diseño.

La reacciones mostradas en las tablas 3-42 y 3-43 provienen de la combinación de carga de la envolvente por lo tanto se trata de cargas mayoradas, para el diseño es necesario trabajar con cargas de servicio esto se realiza desmayorando la carga última, dividiéndola por el factor de seguridad el cual equivale a 1,4 para estructuras de acero.

**Tabla 3-42: Reacciones en zapatas aisladas tipo A (1)**

Columna	Combinación de carga	F <sub>x</sub> (kgf)	F <sub>y</sub> (kgf)	F <sub>z</sub> (kgf)	M <sub>x</sub> (kgf-m)	M <sub>y</sub> (kgf-m)	M <sub>z</sub> (kgf-m)
C01	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	269,87	-65,85	671,06	49,29	19,25	2,53
C01	0.95*CP+1.6*CV(1)	-276,51	-46,86	-641,87	22,16	-21,34	-6,61
C01	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-260,70	-47,29	-615,22	22,50	-21,05	-6,66
C01	0.95*CP+1.6*CV(2)	254,06	-65,43	644,41	48,95	18,96	2,59
C02	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,08	-18,44	35,24	23,79	66,90	-0,96
C02	0.95*CP+1.6*CV(1)	-119,05	0,19	14,01	-0,24	-74,10	0,00
C02	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-118,91	0,19	29,43	-0,24	-74,01	0,00
C02	0.95*CP+1.6*CV(2)	108,95	-18,44	19,83	23,78	66,81	-0,96
C02	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	-83,70	0,19	28,81	-0,24	-51,95	0,00
C02	0.95*CP+1.6*CV(3)	-83,84	0,19	13,40	-0,25	-52,04	0,00
C02	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	68,52	-11,53	59,40	14,87	42,03	-0,60
C02	0.95*CP+1.6*CV(6)	0,0444	-1,63	11,42	2,06	0,05234	0,05007
C03	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	361,31	-75,41	829,15	54,37	20	-6,23
C03	0.95*CP+1.6*CV(1)	-291,54	47,26	-656,66	-22,85	-21,43	6,77
C03	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-273,98	47,68	-628,83	-23,19	-21,13	6,82
C03	0.95*CP+1.6*CV(2)	343,75	-75,84	801,32	54,7	19,7	-6,28
C06	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-3,63	0,64	180,12	-0,91	-3,95	-0,01356
C06	0.95*CP+1.6*CV(2)	17,28	-10,72	-0,59	15,05	19,33	-1,31
C06	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	17,14	-10,73	130,69	15,06	19,4	-1,31
C06	0.95*CP+1.6*CV(1)	-3,49	0,65	48,84	-0,92	-4,02	-0,01266
C06	0.95*CP+1.6*CV(3)	5,31	0,65	-23,47	-0,92	6,02	-0,01274
C06	1.2*CP + 1.6*CT	-0,43	-0,01924	451,12	0,02889	0,28	-0,003055
C06	0.95*CP+1.6*CV(4)	11,73	-6,39	-62,28	8,97	13	-0,78
C06	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	0,0176	-5,46	86,66	7,75	0,17	0,16
C06	0.95*CP+1.6*CV(6)	0,16	-5,46	-44,61	7,74	0,1	0,16
C09	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	210,44	-246,4	583,76	137,22	3,43	-0,71
C09	0.95*CP+1.6*CV(1)	-365,16	-385,73	-398,55	150,57	-29,76	2,73
C09	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-324,42	-390,73	-182,36	156,59	-29,85	2,53
C09	0.95*CP+1.6*CV(5)	-19,04	0,02223	-92,78	0,6	0,01458	0,05621
C09	1.2*CP + 1.6*CT	135,49	-16,78	747,78	20,19	-0,37	-0,69
C09	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	172,85	-374,27	86,68	195,47	5,79	-0,31
C09	0.95*CP+1.6*CV(2)	132,12	-369,27	-129,51	189,45	5,88	-0,1
C09	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	144,03	-25,01	437,86	33,06	0,37	-0,93
C10	1.2*CP + 1.6*CT	148,41	18,33	836,57	-21,94	-0,39	0,75
C10	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-332,96	393	-433,73	-160,46	-29,5	-2,51
C10	0.95*CP+1.6*CV(2)	-108,04	-448,64	718,43	214,63	1,89	1,46
C10	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	72,66	-263,31	1197,89	113,66	0,91	1,62
C10	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-63,39	-443,17	961,39	208,08	1,79	1,69
C10	0.95*CP+1.6*CV(1)	-377,61	387,53	-676,7	-153,91	-29,4	-2,73

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

**Tabla 3-43: Reacciones en zapatas aisladas tipo A (2)**

Columna	Combinación de carga	F <sub>x</sub> (kgf)	F <sub>y</sub> (kgf)	F <sub>z</sub> (kgf)	M <sub>x</sub> (kgf-m)	M <sub>y</sub> (kgf-m)	M <sub>z</sub> (kgf-m)
C11	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-309,2	-386,83	-166,2	157,16	-27,95	-0,01041
C11	0.95*CP+1.6*CV(5)	0,62	0,79	-169,64	-0,24	0,04399	-0,001545
C11	1.2*CP + 1.6*CT	-2,75	-22,06	858,36	26,62	-0,24	-0,006133
C11	0.95*CP+1.6*CV(6)	3,28	-15,06	-742,26	23,57	0,33	-0,01491
C11	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-86,09	-378,15	-436,2	205,59	-4,14	-0,09856
C11	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(4)	-39,36	-178,43	-139,63	103,54	-2,35	-0,11
C11	0.95*CP+1.6*CV(4)	-38,61	-171,85	-389,07	95,6	-2,28	-0,11
C12	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-308,09	388,54	-532,4	-160,49	-27,82	0,01569
C12	0.95*CP+1.6*CV(2)	-53,28	-445,19	1351,76	218,28	-3,81	0,09239
C12	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-35,85	-255,72	1716,46	109,3	-2,62	0,06149
C12	0.95*CP+1.6*CV(1)	-307,24	381,33	-814,44	-151,82	-27,75	0,01445
C12	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-54,13	-437,99	1633,81	209,61	-3,89	0,09363
C12	0.95*CP+1.6*CV(6)	-2,67	-25,93	515,91	36,69	-0,32	-0,01555
C13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-340,6	-374,1	108,04	196,11	-14,7	1,34
C13	0.95*CP+1.6*CV(5)	19,95	-0,04862	-93,52	0,69	0,07914	-0,06277
C13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-288,44	-389,48	-149,43	156,06	-30,4	-1,17
C13	1.2*CP + 1.6*CT	-140	-16,77	750,38	20,24	-0,15	0,75
C13	0.95*CP+1.6*CV(1)	-246,47	-384,49	-366,35	150,03	-30,34	-1,39
C13	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-318,19	-246,29	598,85	137,66	-9,36	1,4
C14	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	-289,35	258,59	347,78	-116,48	-19,26	0,12
C14	0.95*CP+1.6*CV(6)	90,76	-23,9	201,89	33,45	0,65	0,76
C14	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-278,21	391,97	-402,2	-160,2	-30,49	1,16
C14	0.95*CP+1.6*CV(2)	20,33	-449,76	776,35	214,98	-10,04	-2,26
C14	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-131,51	-264,08	1236,78	113,92	-6,52	-2,17
C14	0.95*CP+1.6*CV(1)	-232,22	386,53	-646,05	-153,66	-30,41	1,4
C14	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,66	-444,31	1020,2	208,44	-10,12	-2,51
C17	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-175,87	-9,5	219,43	13,44	-141,17	-1,47
C17	0.95*CP+1.6*CV(6)	-0,06348	-5,5	-47,45	7,79	0,01269	-0,78
C17	0.95*CP+1.6*CV(1)	-122,33	0,66	-52,79	-0,93	-97,82	0,15
C17	0.95*CP+1.6*CV(3)	-66,54	0,66	-92,34	-0,94	-53,05	0,16
C17	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-111,11	-5,95	467,2	8,43	-90,17	-0,94
C17	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(4)	-119,17	-6,13	128,6	8,64	-94,82	-1,5

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

**a. Dimensionamiento de zapatas tipo A.**

Para el cimiento C12 se tienen los siguientes datos:

**Tabla 3-44: Datos iniciales para el cimiento C12**

Dato	Valor	Unidades
Carga de Servicio ( $P_s$ )	12,36	kN
Momento ( $M_{sx}$ )	1,54	kN-m
Momento ( $M_{sy}$ )	0,10	kN-m
Factor de Seguridad ( $F_s$ )	1,40	
Carga última ( $P_u$ )	17,30	kN
Momento último en x ( $M_{ux}$ )	2,16	kN-m
Momento último en y ( $M_{uy}$ )	0,14	kN-m
Capacidad Admisible ( $q_{adm}$ )	100,00	kN/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Los momentos flectores determinan las excentricidades, que son  $e_x = 0,01$  y  $e_y = 0,12$ , ninguna de estas excentricidades debe ser mayor a  $B/6 = 0,13$ . Los puntos de contacto con el suelo se estiman por ensayo y error, asumiendo una zapata cuadrada.

**Tabla 3-45: Resultados para los tanteos de B**

B	$q_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_4$ (kN/m <sup>2</sup> )
0,60	-11,22	74,33	79,89	-5,67
0,65	-6,58	60,72	65,09	-2,21
0,70	-3,46	50,41	53,91	0,03
0,75	-1,35	42,45	45,30	1,49
0,80	0,09	36,19	38,53	2,44
0,85	1,08	31,18	33,13	3,04
0,90	1,76	27,11	28,76	3,41

Fuente: Autor

Para el caso de las celdas resaltadas en gris es porque no cumplen con los requisitos necesarios, por lo tanto el menor valor de B que cumple con las condiciones mínimas es  $B = 0,80$ m.

**Tabla 3-46: Condiciones de estado último para el valor de B**

B	$q_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_4$ (kN/m <sup>2</sup> )
0,8	0,13	50,66	53,94	3,41

Fuente: Autor

**Tabla 3-47: Propuesta inicial de dimensiones**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Espesor de Zapata (h)	0,35	m
Recubrimiento	0,05	m
f'c del concreto	21,00	MPa
f <sub>y</sub> del acero	420,00	MPa
d = h - recubrimiento	0,30	m
<b>Dimensiones del Pedestal</b>		
b <sub>1</sub>	0,30	m
b <sub>2</sub>	0,30	m

Fuente: Autor

Con estas dimensiones iniciales se revisa que cumplan con:

**Tabla 3-48: Revisión de punzonamiento o cortante bidireccional**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Fuerza por punzonamiento	6,98	kN
Esfuerzo cortante por punzonamiento	0,01	MPa
$\phi_v$	0,85	
$\alpha_s$	40,00	
$\beta_c$	1,00	
Perímetro de sección crítica (b <sub>0</sub> )	2,40	m
El esfuerzo cortante debe ser menor que:		
1	1,30	kg/m <sup>2</sup>
2	2,27	kg/m <sup>2</sup>
3	1,95	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

**Tabla 3-49: Revisión de cortante unidireccional**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Cortante directo	57,10	kN/m <sup>2</sup>
Fuerza cortante	-2,22	kN
Esfuerzo Cortante	-0,01	MPa
El esfuerzo cortante debe ser menor que:		
1	0,65	Mpa

Fuente: Autor

**Tabla 3-50: Revisión de la resistencia por aplastamiento**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
A <sub>1</sub>	0,09	m <sup>2</sup>
A <sub>2</sub>	1	m <sup>2</sup>
φ	0,70	
(A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub> ) <sup>(1/2)</sup>	3,33	
Se toma entonces	2	
φP <sub>n</sub>	2249	kN
P <sub>u</sub> < φP <sub>n</sub>	OK	

Fuente: Autor

**Tabla 3-51: Fuerza en contra de la succión**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Volumen del Cimiento	0,269	m <sup>3</sup>
Volumen del Suelo	0,275	m <sup>3</sup>
Peso Específico del Concreto	2400	kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico del Suelo	1650	kg/m <sup>3</sup>
Peso del Concreto	645,6	kg
Peso del Suelo	453,75	kg
Fuerza en contra de succión	1099,35	kg

Fuente: Autor

El cimiento para la zapata tipo A se tiene 1099,35 kg en contra de la succión, lo que supera la fuerza presente de 817 kg por lo que el dimensionamiento propuesto es satisfactorio.

Por lo tanto para la zapata tipo A se tiene que:

**Tabla 3-52: Dimensiones finales**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<i>Base</i>		
Ancho (B)	0,80	m
Largo (L)	0,80	m
Espesor (h)	0,35	m
<i>Pedestal</i>		
Ancho (b <sub>1</sub> )	0,30	m
Largo (b <sub>2</sub> )	0,30	m
Altura (a)	0,50	m

Fuente: Autor

### **Diseño del acero de refuerzo para la zapata tipo A.**

#### **✓ Acero a flexión en la base.**

Para el diseño del acero de refuerzo a flexión, se tiene un momento máximo de 1,22 kN-m. Despejando de la ecuación 2.10-15, el valor del área de acero con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $b = 80 \text{ cm}$  y  $d = 30 \text{ cm}$  se tiene que el área necesaria es de  $0,11 \text{ cm}^2$ , sin embargo este valor no cumple con lo especificado en el CSCR-2010 sobre los requerimientos de acero mínimo, las ecuaciones 2.10-16 y 2.10-17 establecen los mínimos permisibles por lo tanto el acero de refuerzo debe de ser no menor a  $8 \text{ cm}^2$ , lo que corresponde a utilizar 5 varillas #5.

En el acero a compresión se puede utilizar el 50% del acero a tensión por lo que este puede ser de 6 varillas #3.

#### **✓ Acero a compresión en el pedestal.**

Para el acero longitudinal, se considera que trabaja a compresión únicamente debido a los bajos momentos presentes y a la poca altura de éste.

Según el ACI-318-08 señala que en estos casos se puede considerar de un 1% a un 8% del área transversal en acero. Para este caso se tiene un área transversal de pedestal de  $900 \text{ cm}^2$  por lo tanto se pueden utilizar 6 varillas #5 con un área de  $11,88 \text{ cm}^2$ , con lo que se cumple con lo requerido.

#### **✓ Acero a cortante en el pedestal.**

Para la zapata tipo A, se presenta una fuerza cortante máxima de 450kg en el C14 por lo tanto la resistencia a cortante del elemento debe ser mayor o igual a ese valor.

Según la ecuación 2.10-21, la resistencia al cortante que aporta el concreto es de 4320kg por lo que se presenta el caso 1 y según la relación 2.10-24 no se requieren aros, sin embargo para favorecer el confinamiento del concreto se pueden utilizar aros #2 a cada 15cm.

### Detalles de la zapata tipo A.

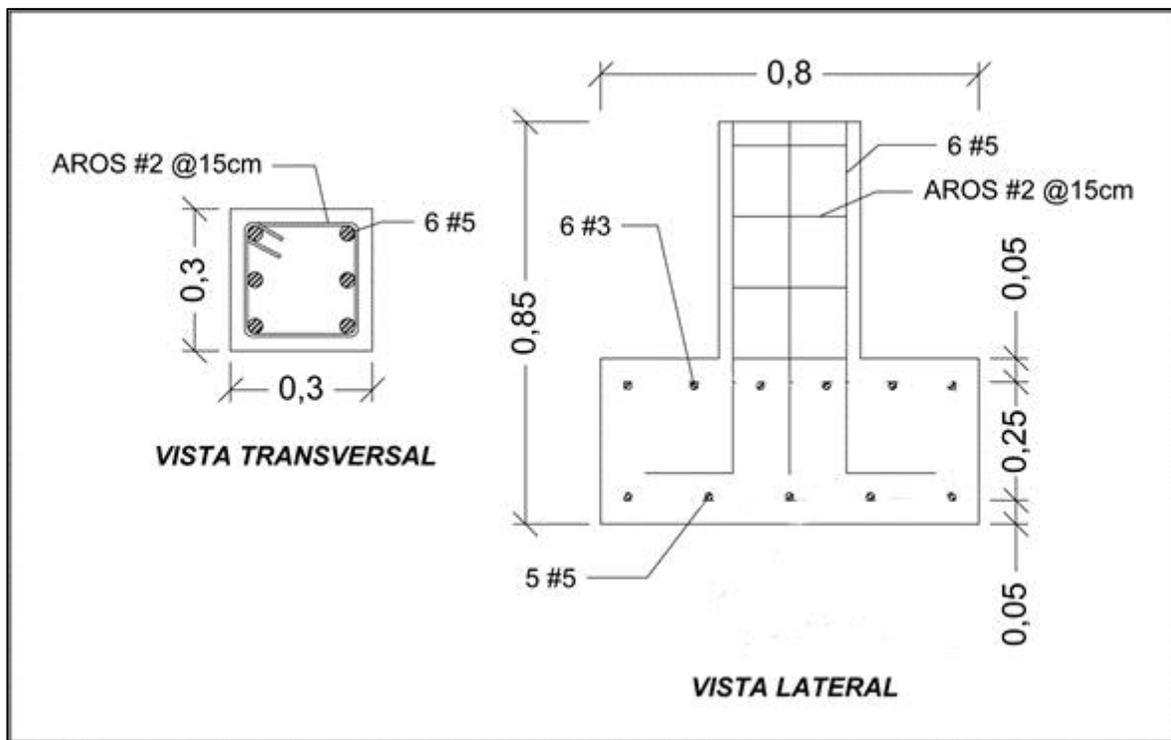


Figura 3-17: Detalle de la zapata tipo A (unidades en m)

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

### Zapatas combinadas tipo B

Son aquellos cimientos que cuentan con la mayor carga axial y se localizan en las esquinas del invernadero. Estos cimientos son: C04, C05, C07, C08, C15, C16, C18 y C19. Para estos el cimiento C4 posee la mayor carga axial con 4640kg y en succión se presentó una carga de 4385kg en el C08 por lo que el diseño debe satisfacer ambos valores.

Las reacciones mostradas en la tabla 3-41 provienen de la combinación de carga de la envolvente por lo tanto se trata de cargas mayoradas, para el diseño es necesario trabajar con cargas de servicio esto se realiza desmayorando la carga última, dividiéndola por el factor de seguridad el cual equivale a 1,4 para estructuras de acero.

**Tabla 3-53: Reacciones en zapatas tipo B**

Columna	Combinación de carga	F <sub>x</sub> (kgf)	F <sub>y</sub> (kgf)	F <sub>z</sub> (kgf)	M <sub>x</sub> (kgf-m)	M <sub>y</sub> (kgf-m)	M <sub>z</sub> (kgf-m)
C04	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	301,81	-797,68	3275,59	22,75	-1,60	-17,09
C04	0.95*CP+1.6*CV(1)	-203,27	-111,44	-452,91	22,75	-27,07	-39,61
C04	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	282,49	-1200,93	4565,38	35,12	-1,85	-26,28
C04	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-152,45	-130,75	-280,07	23,08	-27,29	-39,88
C04	0.95*CP+1.6*CV(6)	102,14	-556,83	2187,18	7,49	-0,07	-0,50
C04	0.95*CP+1.6*CV(5)	1,84	-84,17	316,55	1,04	-0,45	0,02
C05	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-271,48	-29,34	612,41	3,72	-45,42	13,42
C05	0.95*CP+1.6*CV(2)	279,01	-938,90	-2635,52	14,04	52,56	1,67
C05	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	-201,04	-10,99	708,84	2,53	-30,34	8,58
C05	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	266,26	-935,46	-2501,94	14,11	51,79	1,75
C05	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	-227,35	1,54	485,91	2,39	-45,93	9,50
C05	0.95*CP+1.6*CV(4)	196,39	-545,98	-1617,34	7,92	37,04	-0,15
C07	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-265,41	142,42	254,68	-5,58	-44,94	-13,61
C07	0.95*CP+1.6*CV(2)	312,52	-968,25	1801,57	18,50	59,34	14,97
C07	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	298,60	-973,13	1954,67	18,43	58,52	14,89
C07	0.95*CP+1.6*CV(1)	-251,49	147,31	101,58	-5,51	-44,12	-13,53
C07	0.95*CP+1.6*CV(3)	-207,35	117,09	-26,70	-4,19	-44,63	-9,61
C07	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	-221,27	112,20	126,40	-4,25	-45,45	-9,69
C08	1.2*CP + 1.6*CT	189,85	69,52	641,41	-1,13	-0,96	0,97
C08	0.95*CP+1.6*CV(2)	-269,63	-1246,88	-4290,25	40,08	1,81	-44,41
C08	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-155,68	253,65	139,93	-24,68	-27,12	39,92
C15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-350,30	-1086,28	4503,08	29,72	-5,48	18,80
C15	0.95*CP+1.6*CV(3)	4,64	-26,02	-197,06	14,92	-13,64	18,46
C15	0.95*CP+1.6*CV(1)	-39,72	-78,36	-46,38	22,51	-22,04	25,42
C15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-151,57	-576,20	2355,03	7,86	0,75	1,25
C15	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-90,92	-98,66	130,66	22,84	-21,94	25,56
C16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-191,75	-798,34	-1727,85	10,38	-131,92	-1,36
C16	0.95*CP+1.6*CV(6)	2,51	-461,89	-1239,08	6,01	3,32	-0,34
C16	0.95*CP+1.6*CV(2)	-191,18	-802,00	-1848,43	10,37	-131,28	-1,29
C16	1.2*CP + 1.6*CT	-2,05	14,93	419,66	0,02	-2,32	-0,26
C18	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-224,60	-837,39	2226,32	10,45	-158,72	-5,27
C18	0.95*CP+1.6*CV(5)	-0,34	-75,17	136,14	0,99	-0,42	-0,05
C18	0.95*CP+1.6*CV(1)	-131,96	124,23	-335,86	-1,27	-93,31	1,01
C18	0.95*CP+1.6*CV(3)	-69,90	103,86	-347,66	-1,07	-49,40	0,87
C18	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-132,59	119,00	-195,70	-1,27	-94,03	1,08
C18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-223,98	-832,15	2086,16	10,45	-158,00	-5,34
C19	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	-192,63	189,65	806,47	-16,11	-13,56	-16,51
C19	0.95*CP+1.6*CV(2)	235,25	-1048,27	-3757,23	33,03	-8,38	52,19
C19	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-87,15	221,03	546,95	-24,46	-21,90	-25,83
C19	1.4*CP	-43,17	20,70	176,96	-0,26	0,70	-0,01
C19	0.95*CP+1.6*CV(1)	-31,18	199,91	357,00	-24,13	-21,98	-25,69

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

✓ **Dimensionamiento de zapatas tipo B.**

Para el cimiento C04 el cual posee la mayor carga axial se tienen los siguientes datos:

**Tabla 3-54: Datos iniciales para el cimiento C04**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Carga de Servicio (Ps)	32,50	kN
Momento (Msx)	0,25	kN-m
Momento (Msy)	0,00	kN-m
Factor de Seguridad (Fs)	1,40	
Carga última (Pu)	45,50	kN
Momento último en x (Mux)	0,35	kN-m
Momento último en y (Muy)	0,00	kN-m
Capacidad Admisible (qa)	100,00	kN/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Los momentos flectores determinan las excentricidades, que son  $e_x = 0,00$  y  $e_y = 0,01$ , ninguna de estas excentricidades es mayor a  $B/6 = 0,10$ . Los puntos de contacto con el suelo se estiman por ensayo y error, asumiendo una zapata cuadrada.

**Tabla 3-55: Resultados para los tanteos de B**

<b>B</b>	<b>q1 (kN/m2)</b>	<b>q 2 (kN/m2)</b>	<b>q3 (kN/m2)</b>	<b>q4 (kN/m2)</b>
0,40	179,69	226,56	226,56	179,69
0,45	144,03	176,95	176,95	144,03
0,50	118,00	142,00	142,00	118,00
0,55	98,42	116,45	116,45	98,42
0,60	83,33	97,22	97,22	83,33
0,65	71,46	82,39	82,39	71,46
0,70	61,95	70,70	70,70	61,95

Fuente: Autor

Para el caso de las celdas resaltadas en gris es porque para los valores de B no se cumple con los requisitos necesarios, por lo tanto el menor valor de B que satisface las condiciones mínimas es  $B=0,60m$ .

**Tabla 3-56: Condiciones de estado último para el valor de B**

<b>B</b>	<b>q1 (kN/m2)</b>	<b>q2 (kN/m2)</b>	<b>q3 (kN/m2)</b>	<b>q4 (kN/m2)</b>
0,60	116,67	136,11	136,11	116,67

Fuente: Autor

**Tabla 3-57: Propuesta inicial de dimensiones**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Espesor de Zapata (h)	0,35	m
Recubrimiento	0,05	m
$f'_c$	21,00	MPa
$f_y$ del acero	420,00	MPa
d = h - recubrimiento	0,30	m
<b>Dimensiones del Pedestal</b>		
$b_1$	0,30	m
$b_2$	0,30	m

Fuente: Autor

Con estas dimensiones se revisa que cumplan con:

**Tabla 3-58: Revisión de punzonamiento o cortante bidireccional**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Fuerza por punzonamiento	0,00	kN
Esfuerzo cortante por punzonamiento	0,00	MPa
$\phi_v$	0,85	
$\alpha_s$	40,00	
$\beta_c$	1,00	
Perímetro de sección crítica ( $b_0$ )	2,40	m
El esfuerzo cortante debe ser menor que:		
1	1,30	kg/m <sup>2</sup>
2	2,27	kg/m <sup>2</sup>
3	1,95	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

**Tabla 3-59: Revisión de cortante unidireccional**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Cortante directo	140,97	kN/m <sub>2</sub>
Fuerza cortante	-12,47	kN
Esfuerzo Cortante	-0,07	MPa
Es esfuerzo cortante debe ser menor que:		
1	0,65	MPa

Fuente: Autor

**Tabla 3-60: Revisión de la resistencia por aplastamiento**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
A <sub>1</sub>	0,09	m <sup>2</sup>
A <sub>2</sub>	1,00	m <sup>2</sup>
φ	0,70	
(A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub> ) <sup>(1/2)</sup>	3,33	
Se toma entonces	2	
φP <sub>n</sub>	2249	kN
P <sub>u</sub> < φP <sub>n</sub>	OK	

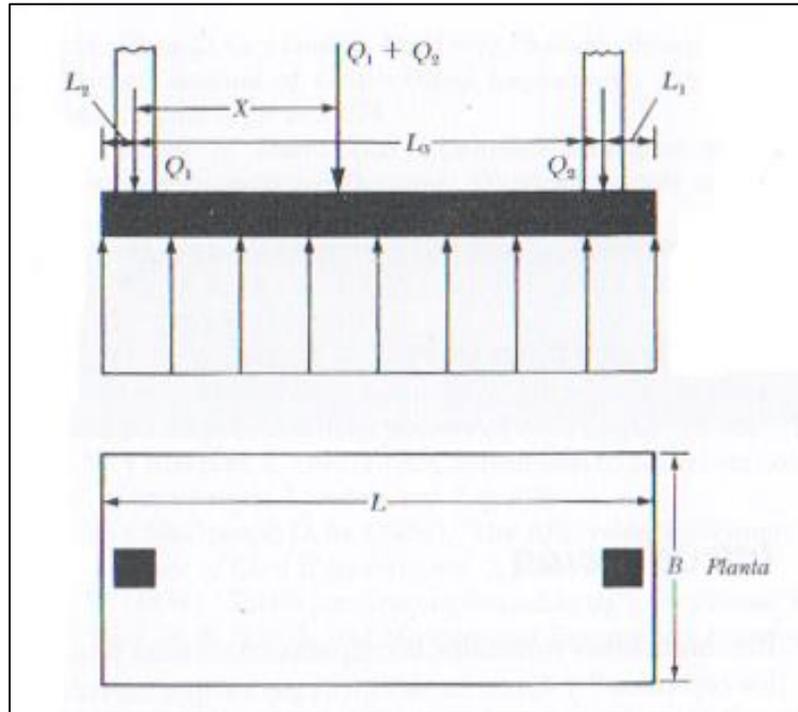
Fuente: Autor

**Tabla 3-61: Fuerza en contra de la succión**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Volumen del Cimiento	0,171	m <sup>3</sup>
Volumen del Suelo	0,135	m <sup>3</sup>
Peso Específico del Concreto	2400	kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico del Suelo	1650	kg/m <sup>3</sup>
Peso del Concreto	410,4	kg
Peso del Suelo	222,75	kg
Fuerza en contra de succión	633,15	kg

Fuente: Autor

El cimiento para la zapata tipo B tiene 633,15 kg en contra de la succión, por lo que no satisface el valor máximo presente de 4383kg, por este motivo se hizo necesario proponer una estructura de mayores dimensiones. Para esto se propuso una zapata combinada rectangular en la cual llegan las cargas de dos columnas en donde la combinación de la C04 y la C05 es la que posee los valores críticos por lo que rige el diseño.



**Figura 3-18: Zapata rectangular combinada**

Fuente: Braja M. Das (2006)

**Tabla 3-62: Diseño de zapata combinada**

Dato	Valor	Unidades
$Q_1$	4636,1	kg
$Q_2$	742,56	kg
$Q_1 + Q_2$	5378,66	kg
	53,79	kN
Capacidad Admisible del Suelo	100	kN/m <sup>2</sup>
$L_2$	0,6	m
$L_3$	1,5	m
Área de Cimentación	0,54	m <sup>2</sup>
Posición de la resultante (X)	0,21	m
Longitud de cimentación (L)	1,61	m
$L_1$	-0,49	m
B	0,33	m

Fuente: Autor

**Tabla 3-63: Dimensiones definitivas de zapata combinada**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
L <sub>1</sub>	0,6	m
L <sub>2</sub>	0,6	m
L <sub>3</sub>	1,5	m
L	2,70	m
B	1,00	m
Espesor de base	0,35	m
Ancho de pedestal	0,30	m
Altura de pedestal	0,50	m

Fuente: Autor

Con estas dimensiones se revisó que cumpliera con la fuerza de succión presente

**Tabla 3-64: Fuerza en contra de succión**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Volumen de Base	0,945	m <sup>3</sup>
Volumen de Pedestal	0,045	m <sup>3</sup>
Volumen de Suelo	1,26	m <sup>3</sup>
Peso específico del concreto	2400	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del suelo	1650	kg/m <sup>3</sup>
Peso de Concreto	2376	kg
Peso de Suelo	2079	kg
Fuerza en contra de succión	4455	kg

Fuente: Autor

La fuerza de succión proveniente de las columnas C04 y C05 es de 4398, 11 kg, la cual es menor que la fuerza en contra de la succión por lo que este dimensionamiento es satisfactorio.

### **Diseño del acero de refuerzo para la zapata tipo B.**

#### **✓ Acero a flexión en la base.**

Para el diseño del acero de refuerzo, se tiene un momento máximo de 1 kN-m considerando una zapata cuadrada de 0,6m, el cual es el dimensionamiento que cumple con las condiciones de fuerza axial y momentos.

Despejando de la ecuación 2.10-15, con los valores de  $f_y=4200 \text{ kg/m}^2$ ,  $f'_c=210 \text{ kg/m}^2$ ,  $b=0,6\text{m}$  y  $d = 0,30\text{m}$ , las cuales provienen del diseño de la zapata aislada, se tiene que el

área necesaria es de  $0,1\text{cm}^2$ , sin embargo este valor no cumple con el mínimo especificado en el CSCR-2010, por lo que según las ecuaciones 2.10-16 y 2.10-17 señalan que este valor debe ser de por lo menos  $6\text{cm}^2$ , por lo que se utilizan 6 varillas #4.

En el acero a compresión se puede utilizar el 50% del acero a tensión por lo que este puede ser de 6 varillas #3.

✓ **Acero a compresión en el pedestal.**

Para el acero longitudinal, se considera que trabaja a compresión únicamente debido a los bajos momentos presentes y a la poca altura de éste.

Según el ACI-318-08 señala que en estos casos se puede considerar de un 1% a un 8% del área transversal en acero. Para este caso se tiene un área transversal de pedestal de  $900\text{cm}^2$  por lo tanto se pueden utilizar 6 varillas #5 con un área de  $11,88\text{cm}^2$ , con lo que se cumple con lo requerido.

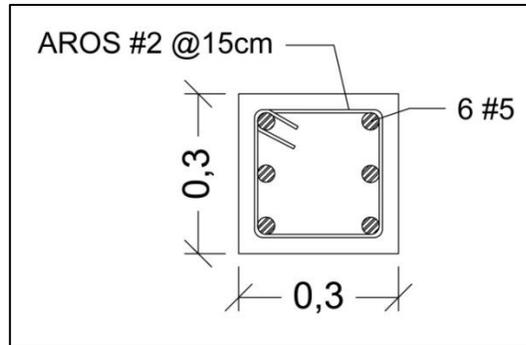
✓ **Acero a cortante en el pedestal.**

Para la zapata tipo B, se presenta una fuerza cortante máxima de 1278kg en el C08 por lo tanto la resistencia a cortante del elemento debe ser mayor o igual a este valor.

Según la ecuación 2.10-21, la resistencia al cortante que aporta el concreto es de 4320kg por lo que se presenta el caso 1 y según la relación 2.10-24 no se requieren aros, sin embargo para favorecer el confinamiento se pueden utilizar aros #2 a cada 15cm.

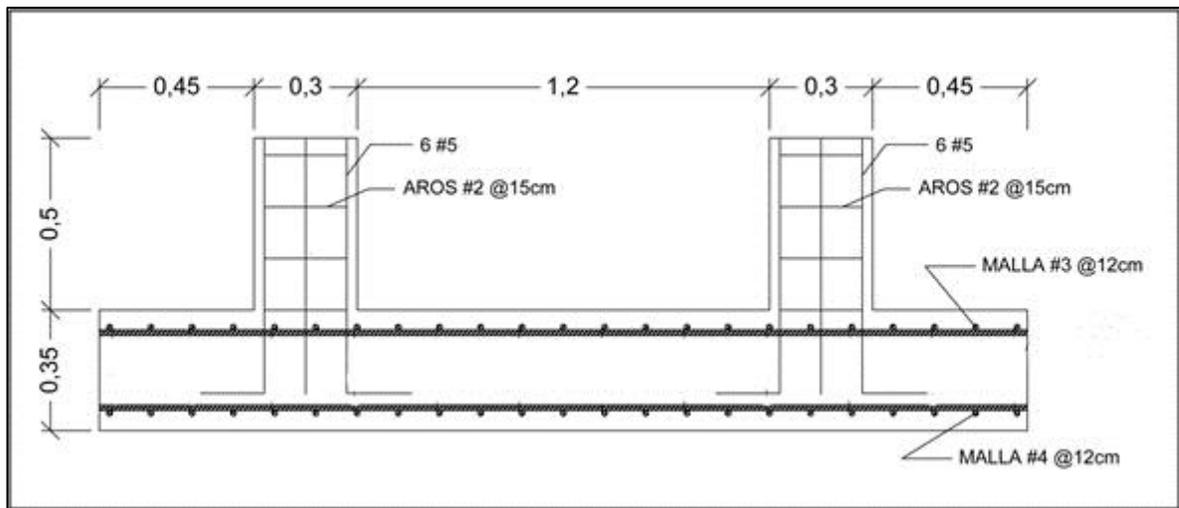
✓ **Detalle de la zapata tipo B.**

El acero propuesto se diseñó para una zapata aislada por lo tanto este se considera para cada columna de la siguiente forma:



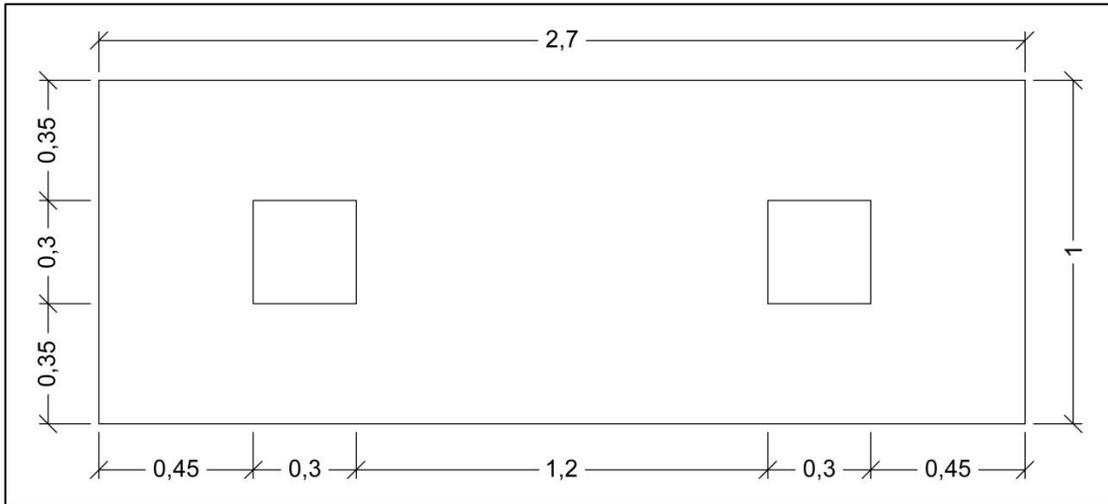
**Figura 3-19: Vista transversal del pedestal (unidades en m)**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura 3-20: Vista lateral de la zapata tipo B (unidades en m)**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

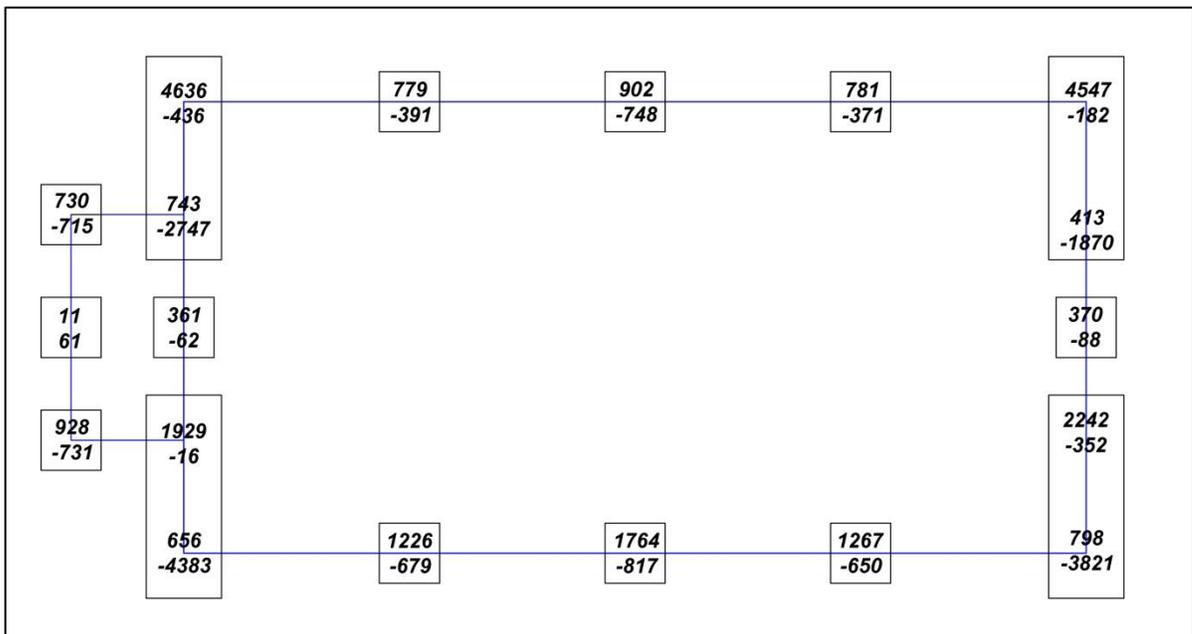


**Figura 3-21: Vista superior de la zapata tipo B (unidades en m)**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

### Planta de cimientos

En la figura 3-22 se muestra la planta de cimientos y las reacciones en compresión y succión para cada una de las columnas.



**Figura 3-22: Planta de cimientos y reacciones (unidades en kg)**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

## 7. Resistencia del plástico.

Siguiendo el procedimiento de la catenaria expuesto en la sección 8 del capítulo 2 “Resistencia del plástico” y según las presiones de viento en el invernadero mostradas en la tabla B-50 del Anexo B se tiene una presión máxima de  $36,45 \text{ kg/m}^2$ , la cual se presenta en edificios abiertos en el caso 2 específicamente en el sotavento del techo.

En este caso el plástico se encuentra con apoyos a 3m y a 1,68m, por lo tanto se obtienen cargas distribuidas de 61,24 kg/m para la separación de 3m y de 109,35 kg/ para la separación de 1,68m.

La tensión máxima, mínima y la elongación del plástico fueron calculadas para deflexiones de 1cm hasta 5cm para cada una de las cargas distribuidas según el procedimiento de la catenaria.

El tipo de plástico considerado tiene un esfuerzo de fluencia de 7MPa - 10MPa y una resistencia a la ruptura de 20MPa - 25MPa

### Separación entre apoyos de 3m y carga distribuida de 61,24kg/m.

En las tablas 3-61 y 3-62 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 1cm.

**Tabla 3-65: Calculo de la catenaria para una deflexión de 1cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
106,000	0,014151	0,000094	1,000094	1,000100	0,000006
107,000	0,014019	0,000093	1,000093	1,000098	0,000005
108,000	0,013889	0,000093	1,000093	1,000096	0,000004
109,000	0,013761	0,000092	1,000092	1,000095	0,000003
110,000	0,013636	0,000091	1,000091	1,000093	0,000002
111,000	0,013514	0,000090	1,000090	1,000091	0,000001
111,876	0,013408	0,000089	1,000089	1,000090	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-66: Resultados para deflexión de 1cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	6850,839	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	6851,451	kg
Longitud del Cable	1,496	m
% de elongación	99,725	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-63 y 3-64 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 3cm.

**Tabla 3-67: Calculo de la catenaria para una deflexión de 3cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b><math>\Delta</math></b>
32,000	0,046875	0,000938	1,000938	1,001099	0,000161
33,000	0,045455	0,000909	1,000909	1,001033	0,000124
34,000	0,044118	0,000882	1,000882	1,000973	0,000091
35,000	0,042857	0,000857	1,000857	1,000919	0,000061
36,000	0,041667	0,000833	1,000833	1,000868	0,000035
37,000	0,040541	0,000811	1,000811	1,000822	0,000011
37,482	0,040019	0,000800	1,000800	1,000801	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-68: Resultados para la deflexión de 3cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	2295,248	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	2297,085	kg
Longitud del Cable	1,500	m
% de elongación	99,996	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-65 y 3-66 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 5cm.

Estos cálculos se realizaron para la separación entre apoyos del plástico de 3m.

**Tabla 3-69: Calculo de la catenaria para una deflexión de 5cm**

c	Xb/c	D/c	D/c + 1	cosh (Xb/c)	$\Delta$
17,000	0,088235	0,002941	1,002941	1,003895	0,000954
18,000	0,083333	0,002778	1,002778	1,003474	0,000696
19,000	0,078947	0,002632	1,002632	1,003118	0,000486
20,000	0,075000	0,002500	1,002500	1,002814	0,000314
21,000	0,071429	0,002381	1,002381	1,002552	0,000171
22,000	0,068182	0,002273	1,002273	1,002325	0,000053
22,504	0,066655	0,002222	1,002222	1,002222	0,000000

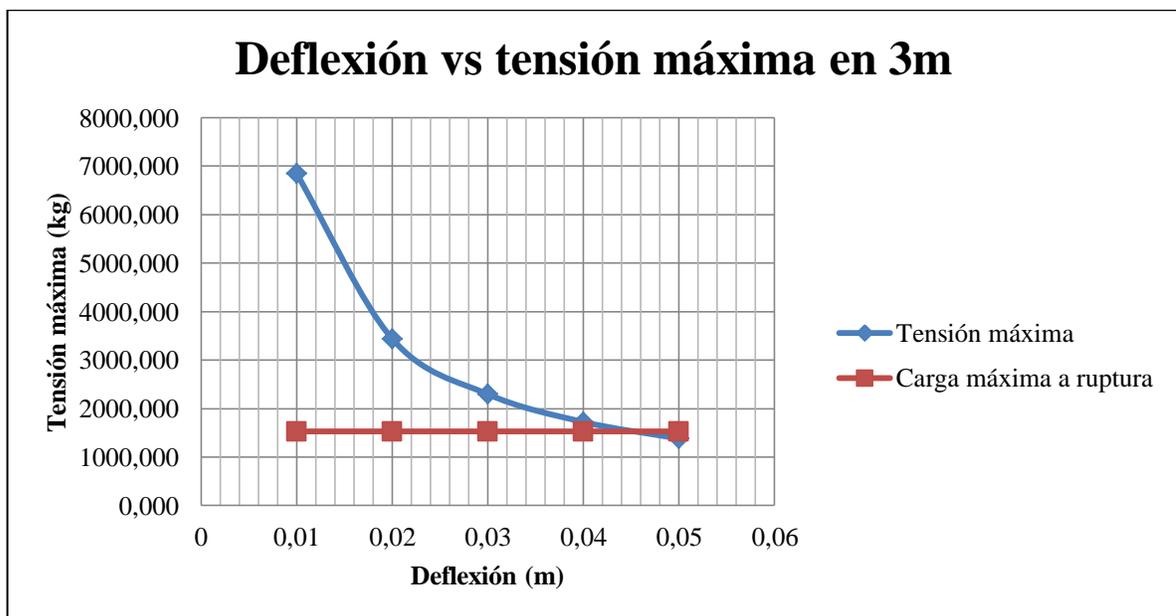
Fuente: Autor

**Tabla 3-70: Resultados para la deflexión de 5cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	1378,055	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	1381,117	kg
Longitud del Cable	1,501	m
% de elongación	100,064	%

Fuente: Autor

En el gráfico 3-1 se muestran las tensiones máximas obtenidas para las deflexiones de 1cm, 3cm y 5cm en la separación entre apoyos de 3m.



**Gráfico 3-1: Comportamiento de la catenaria para una separación de 3m.**

Fuente: Autor

En este caso la tensión máxima supera la carga máxima a ruptura del plástico la cual es de 1529,57 kg, lo que indica que para estas condiciones el plástico se rasgaría.

**Separación entre apoyos de 1,68m y carga distribuida de 109,35kg/m.**

En las tablas 3-67 y 3-68 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 1cm y una separación entre apoyos de 1,68m.

**Tabla 3-37: Calculo de la catenaria para una deflexión de 1cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
30,000	0,028000	0,000333	1,000333	1,000392	0,000059
31,000	0,027097	0,000323	1,000323	1,000367	0,000045
32,000	0,026250	0,000313	1,000313	1,000345	0,000032
33,000	0,025455	0,000303	1,000303	1,000324	0,000021
34,000	0,024706	0,000294	1,000294	1,000305	0,000011
35,000	0,024000	0,000286	1,000286	1,000288	0,000002
35,220	0,023850	0,000284	1,000284	1,000284	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-72: Resultados para una deflexión de 1cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	3851,307	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	3852,401	kg
Longitud del Cable	1,679	m
% de elongación	199,844	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-69 y 3-70 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 3cm.

**Tabla 3-73: Calculo de la catenaria para una deflexión de 3cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
6	0,140000	0,005000	1,005000	1,009816	0,004816
7	0,120000	0,004286	1,004286	1,007209	0,002923
8	0,105000	0,003750	1,003750	1,005518	0,001768
9	0,093333	0,003333	1,003333	1,004359	0,001025
10	0,084000	0,003000	1,003000	1,003530	0,000530
11	0,076364	0,002727	1,002727	1,002917	0,000190
11,765	0,071398	0,002550	1,002550	1,002550	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-74: Resultados para una deflexión de 3cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	1286,503	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	1289,783	kg
Longitud del Cable	1,681	m
% de elongación	200,170	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-71 y 3-72 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 5cm.

**Tabla 3-75: Calculo de la catenaria para una deflexión de 5cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
2,000	0,420000	0,025000	1,025000	1,089504	0,064504
3,000	0,280000	0,016667	1,016667	1,039457	0,022790
4,000	0,210000	0,012500	1,012500	1,022131	0,009631
5,000	0,168000	0,010000	1,010000	1,014145	0,004145
6,000	0,140000	0,008333	1,008333	1,009816	0,001483
7,000	0,120000	0,007143	1,007143	1,007209	0,000066
7,064	0,118913	0,007078	1,007078	1,007078	0,000000

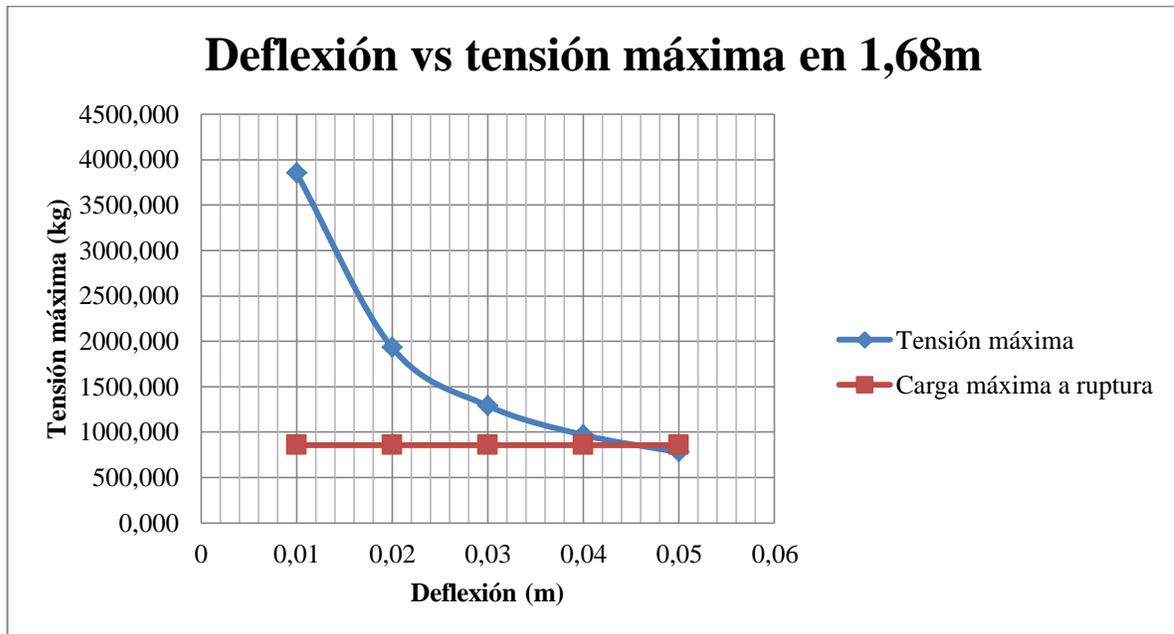
Fuente: Autor

**Tabla 3-76: Resultados para una deflexión de 5cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	772,448	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	777,916	kg
Longitud del Cable	1,684	m
% de elongación	200,467	%

Fuente: Autor

En el gráfico 3-2 se muestran las tensiones máximas obtenidas para las deflexiones de 1cm, 3cm y 5cm en la separación entre apoyos de 1,68m.



**Gráfico 3-2: Comportamiento de la catenaria para una separación de 1,68m.**

Fuente: Autor

En este caso la tensión máxima supera la tensión máxima a ruptura del plástico la cual es de 856,56 kg, lo que indica que bajo estas condiciones el plástico se rasgaría.

En los casos expuestos anteriormente, para la separación entre apoyos de 3m y de 1,68m, no se cumple con los máximos a ruptura que soporta el plástico por lo que es necesario

reducir la distancia entre apoyos para que de esta manera se cumpla con los mínimos requeridos.

A continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de la catenaria considerando separaciones de 1,5m y de 0,84m para las mismas condiciones de presión expuestas anteriormente.

**Separación entre apoyos de 1,5m y carga distribuida de 30,62 kg/m.**

En las tablas 3-73 y 3-74 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 1cm y una separación entre apoyos de 1,5m.

**Tabla 3-77: Calculo de la catenaria para una deflexión de 1cm.**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
23,000	0,032609	0,000435	1,000435	1,000532	0,000097
24,000	0,031250	0,000417	1,000417	1,000488	0,000072
25,000	0,030000	0,000400	1,000400	1,000450	0,000050
26,000	0,028846	0,000385	1,000385	1,000416	0,000031
27,000	0,027778	0,000370	1,000370	1,000386	0,000015
28,000	0,026786	0,000357	1,000357	1,000359	0,000002
28,088	0,026702	0,000356	1,000356	1,000357	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-38: Resultados para una deflexión de 1cm.**

Tensión mínima ( $T_0$ )	859,998	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	860,305	kg
Longitud del Cable	0,750	m
% de elongación	99,943	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-75 y 3-76 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 3cm.

**Tabla 3-79: Calculo de la catenaria para una deflexión de 3cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
4,000	0,187500	0,007500	1,007500	1,017630	0,010130
5,000	0,150000	0,006000	1,006000	1,011271	0,005271
6,000	0,125000	0,005000	1,005000	1,007823	0,002823
7,000	0,107143	0,004286	1,004286	1,005745	0,001460
8,000	0,093750	0,003750	1,003750	1,004398	0,000648
9,000	0,083333	0,003333	1,003333	1,003474	0,000141
9,379	0,079966	0,003199	1,003199	1,003199	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-80: Resultados para una deflexión de 3cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	287,166	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	288,085	kg
Longitud del Cable	0,751	m
% de elongación	100,101	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-77 y 3-78 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 5cm.

**Tabla 3-81: Calculo de la catenaria para una deflexión de 5cm**

<b>c</b>	<b>Xb/c</b>	<b>D/c</b>	<b>D/c + 1</b>	<b>cosh (Xb/c)</b>	<b>Δ</b>
1,000	0,750000	0,050000	1,050000	1,294683	0,244683
1,000	0,750000	0,050000	1,050000	1,294683	0,244683
2,000	0,375000	0,025000	1,025000	1,071140	0,046140
3,000	0,250000	0,016667	1,016667	1,031413	0,014746
4,000	0,187500	0,012500	1,012500	1,017630	0,005130
5,000	0,150000	0,010000	1,010000	1,011271	0,001271
5,633	0,133144	0,008876	1,008876	1,008877	0,000000

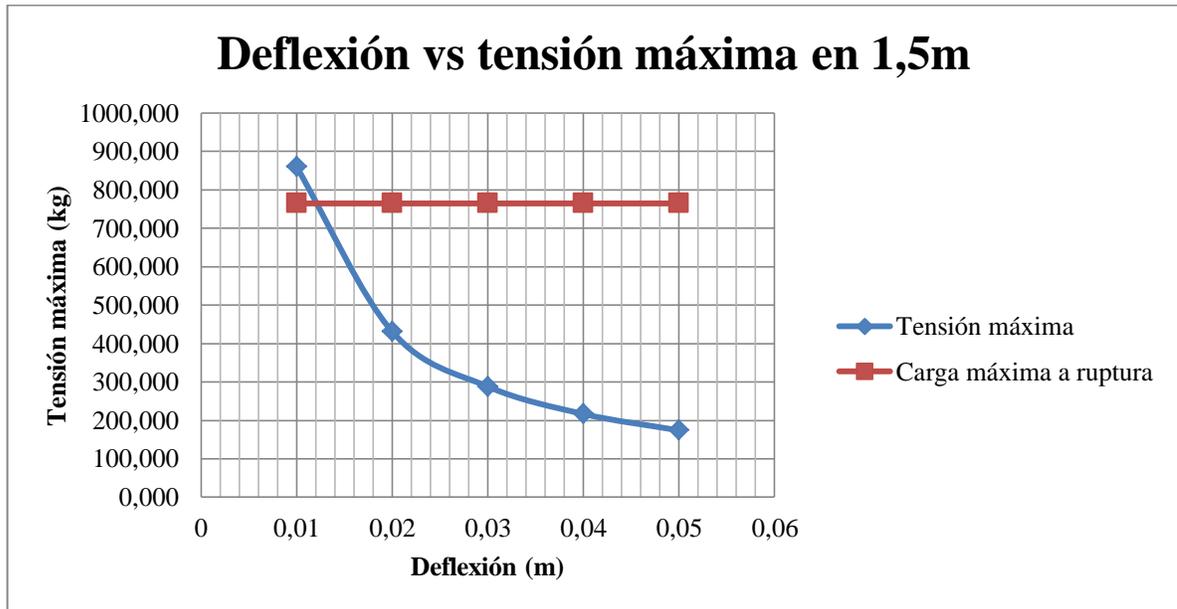
Fuente: Autor

**Tabla 3-82: Resultados para una deflexión de 5cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	172,471	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	174,002	kg
Longitud del Cable	0,752	m
% de elongación	100,293	%

Fuente: Autor

En el gráfico 3-3 se muestran las tensiones máximas obtenidas para las deflexiones de 1cm, 3cm y 5cm en la separación entre apoyos de 1,5m.



**Gráfico 3-3: Comportamiento de la catenaria para una separación de 1,5 m**

Fuente: Autor

En este caso la tensión máxima a la que se ve expuesto el plástico se encuentra en un rango admisible con respecto a la resistencia máxima a ruptura del plástico la cual es de 764,79kg, por lo que esta separación entre apoyos es aceptable para las condiciones analizadas.

### **Separación entre apoyos de 0,84m y carga distribuida de 54,675 kg/m.**

En las tablas 3-79 y 3-80 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 1cm.

**Tabla 3-83: Calculo de la catenaria para una deflexión de 1cm**

c	Xb/c	D/c	D/c + 1	cosh (Xb/c)	$\Delta$
3,000	0,140000	0,003333	1,003333	1,009816	0,006483
4,000	0,105000	0,002500	1,002500	1,005518	0,003018
5,000	0,084000	0,002000	1,002000	1,003530	0,001530
6,000	0,070000	0,001667	1,001667	1,002451	0,000784
7,000	0,060000	0,001429	1,001429	1,001801	0,000372
8,000	0,052500	0,001250	1,001250	1,001378	0,000128
8,818	0,047630	0,001134	1,001134	1,001135	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-84: Resultados para una deflexión de 1cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	482,124	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	482,671	kg
Longitud del Cable	0,840	m
% de elongación	200,034	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-81 y 3-82 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 3cm.

**Tabla 3-85: Calculo de la catenaria para una deflexión de 3cm**

c	Xb/c	D/c	D/c + 1	cosh (Xb/c)	$\Delta$
2,3	0,182609	0,013043	1,013043	1,016719	0,003676
2,4	0,175000	0,012500	1,012500	1,015352	0,002852
2,5	0,168000	0,012000	1,012000	1,014145	0,002145
2,6	0,161538	0,011538	1,011538	1,013076	0,001537
2,7	0,155556	0,011111	1,011111	1,012123	0,001012
2,8	0,150000	0,010714	1,010714	1,011271	0,000557
2,945	0,142615	0,010187	1,010187	1,010187	0,000000

Fuente: Autor

**Tabla 3-86: Resultados para una deflexión de 3cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	161,018	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	162,658	kg
Longitud del Cable	0,843	m
% de elongación	200,679	%

Fuente: Autor

En las tablas 3-83 y 3-84 se muestra el proceso iterativo según el cálculo de la catenaria que lleva a obtener los resultados de las tensiones y la elongación del plástico para una deflexión de 5cm.

**Tabla 3-87: Calculo de la catenaria para una deflexión de 5cm**

c	Xb/c	D/c	D/c + 1	cosh (Xb/c)	$\Delta$
1,100	0,381818	0,045455	1,045455	1,073782	0,028328
1,200	0,350000	0,041667	1,041667	1,061878	0,020211
1,300	0,323077	0,038462	1,038462	1,052645	0,014183
1,400	0,300000	0,035714	1,035714	1,045339	0,009624
1,500	0,280000	0,033333	1,033333	1,039457	0,006123
1,600	0,262500	0,031250	1,031250	1,034651	0,003401
1,772	0,236980	0,028212	1,028212	1,028211	0,000000

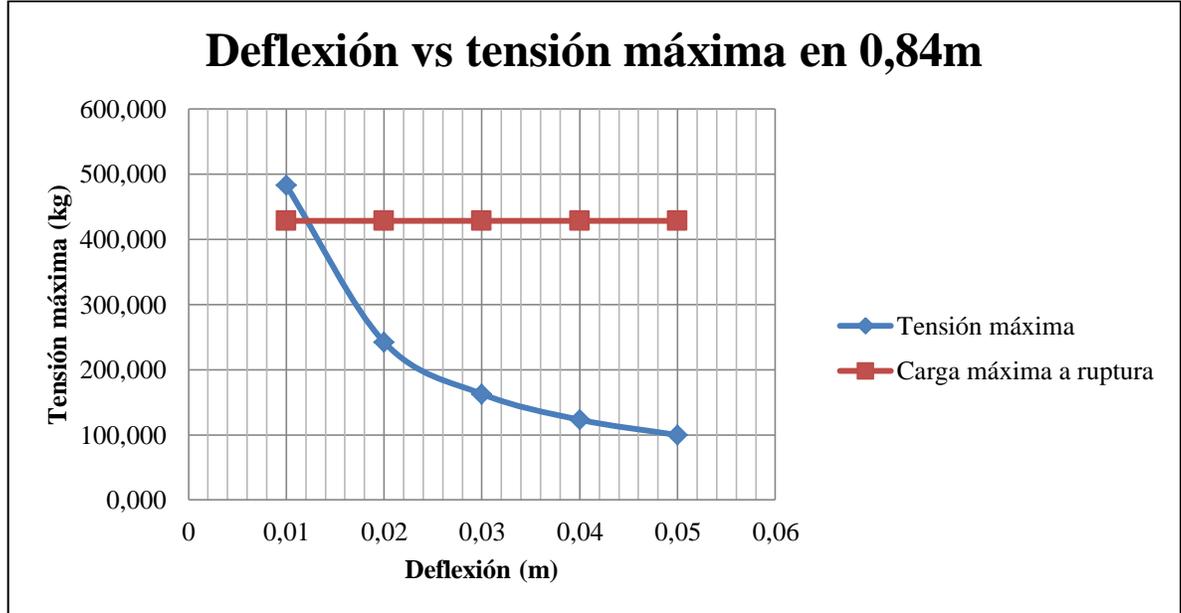
Fuente: Autor

**Tabla 3-88: Resultados para una deflexión de 5cm**

Tensión mínima ( $T_0$ )	96,901	kg
Tensión máxima ( $T_b$ )	99,634	kg
Longitud del Cable	0,848	m
% de elongación	201,879	%

Fuente: Autor

En el gráfico 3-4 se muestran las tensiones máximas obtenidas para las deflexiones de 1cm, 3cm y 5cm en la separación entre apoyos de 0,84m.



**Gráfico 3-4: Comportamiento de la catenaria para una separación de 0,84m**

Fuente: Autor

En este caso la tensión máxima se encuentra en un rango admisible con respecto a la resistencia máxima a ruptura del plástico la cual es de 428,28kg.

Debido a que la resistencia del plástico no cumplió con la separación entre apoyos del diseño de 3m y 1,68m se hace necesario instalar elementos que disminuyan estas separaciones a 1,5m y a 0,84m. Para que estos elementos no repercutan de manera negativa en el costo de los invernaderos se puede implementar la utilización de cables u otros elementos externos a la estructura que cumplan con el propósito de disminuir la separación entre apoyos.

## 8. Secciones finales para el prototipo 1

Después de realizar el diseño de acero y comprobar que cumpliera con todas las condiciones, se tiene que las secciones definitivas son:

**Tabla 3-89: Secciones finales para el marco frontal y posterior**

<b>Descripción</b>	<b>Sección</b>	<b>Espesor (mm)</b>
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla 3-90: Secciones finales para marcos internos y central**

<b>Descripción</b>	<b>Sección</b>	<b>Espesor (mm)</b>
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

## 9. Parámetros de optimización para los prototipos

De la misma manera que se desarrolló el ejemplo de cálculo a través de este capítulo, se realizaron los demás dimensionamientos de tal manera que se obtuvieron valores de kilogramos de acero por metro cubico y por metro cuadrado necesarios para la construcción del invernadero, los cuales se muestran en las siguientes tablas. Se propone este índice por ser la cantidad de acero, una referencia directa al costo de la construcción.

En el anexo A se detallan las configuraciones propuestas, en el B las cargas en los invernaderos, en el C las cimentaciones y en el D las secciones finales para los demás dimensionamientos.

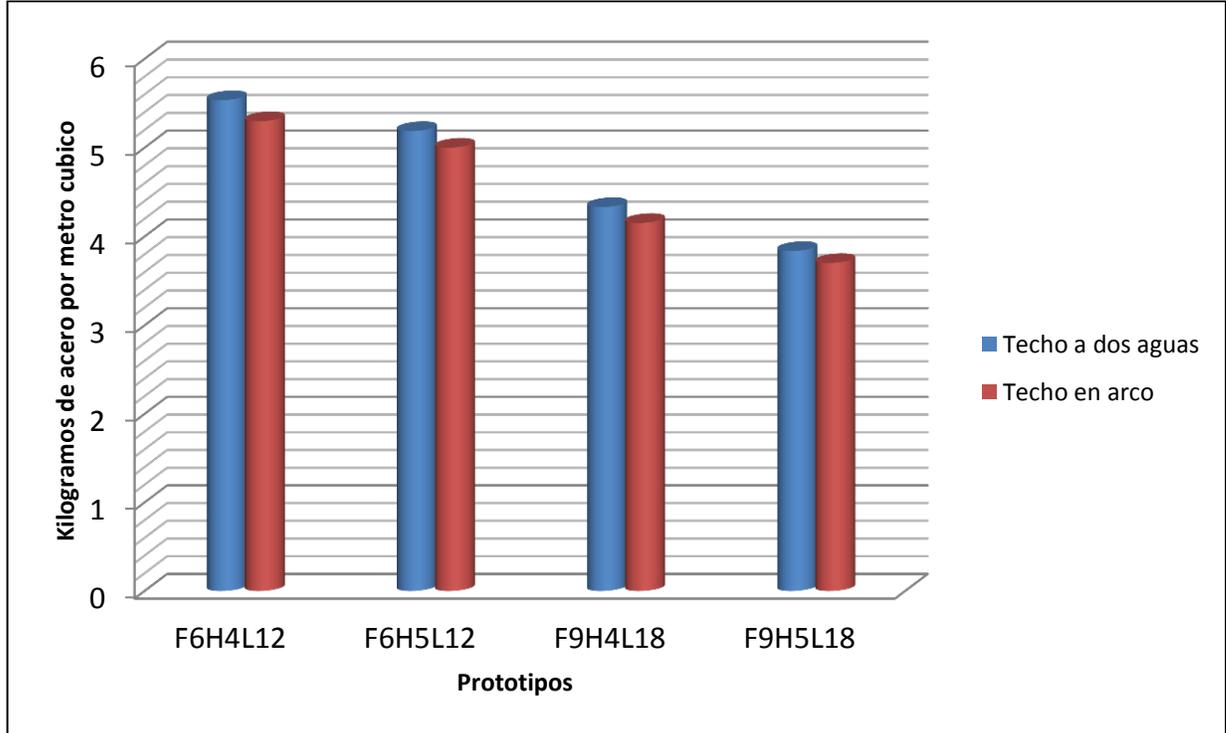
En la siguiente tabla se muestran los valores de kilogramos de acero por metro cubico para los dos tipos de invernadero analizados y la diferencia de pesos entre la forma con el techo a dos aguas y el techo en arco para cada uno de sus prototipos.

**Tabla 3-91: Valores de kg de acero por metro cubico de invernadero para los diferentes prototipos**

Prototipo	kg de acero por m <sup>3</sup> de invernadero		
	Techo a dos aguas	Techo en arco	Δ
1	5,536	5,299	0,237
2	5,188	5,001	0,187
3	4,332	4,153	0,179
4	3,838	3,703	0,135

Fuente: Autor

En el gráfico 3-5 se muestran los kilogramos de acero para cada prototipo y la variación de estos en los dos tipos de invernaderos estudiados



**Gráfico 3-5: Kilogramos de acero por metro cubico del invernadero**

Fuente: Autor

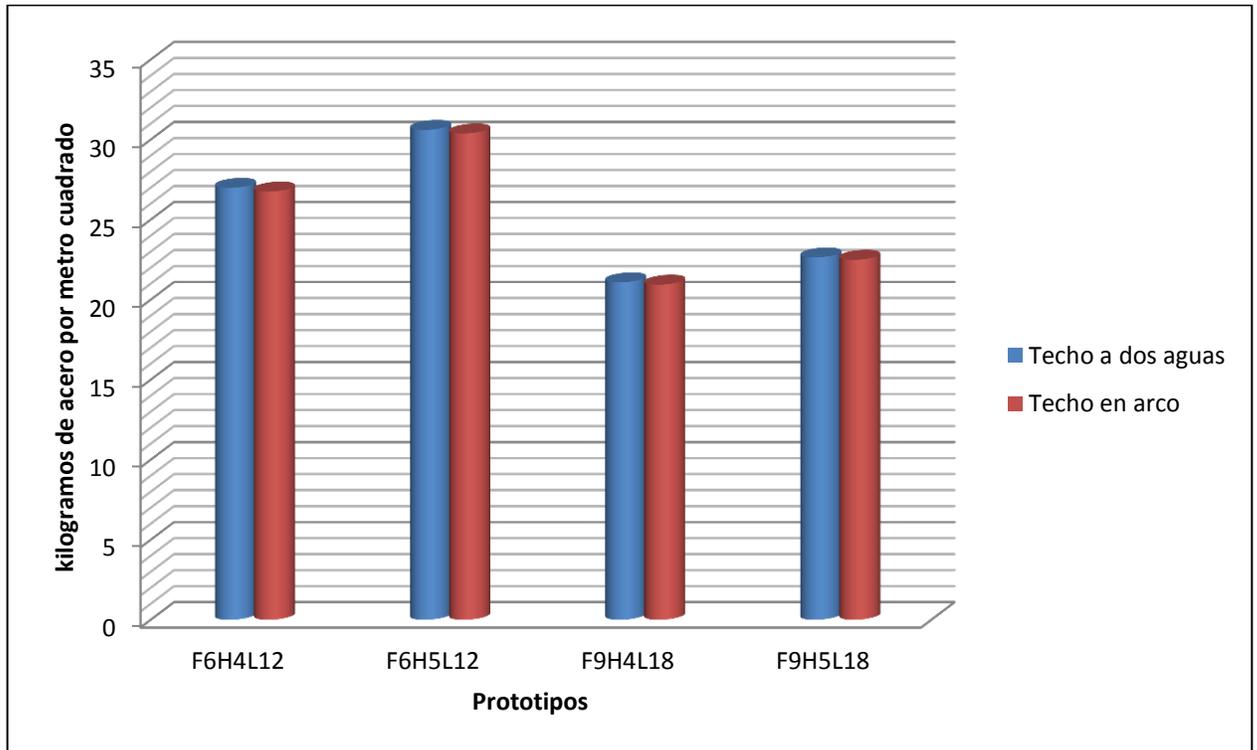
En la tabla 3-88 se muestran los valores de kilogramos de acero por metro cuadrado para cada prototipo de los dos tipos de invernadero analizados y la diferencia de pesos entre ellos.

**Tabla 3-92: Valores de kg de acero por metro cuadrado para los diferentes prototipos**

Prototipo	kg de acero por m <sup>2</sup> de invernadero		
	Techo a dos aguas	Techo en arco	Δ
1	26,985	26,757	0,228
2	30,609	30,383	0,226
3	21,085	20,937	0,148
4	22,638	22,490	0,148

Fuente: Autor

En el gráfico 3-6 se muestran los kilogramos de acero por metro cuadrado para los cada uno de los prototipos analizados.



**Gráfico 3-6: Kilogramos de acero por metro cuadrado del invernadero**

Fuente: Autor

## 10. Diseño del sistema de evacuación pluvial

### Determinación del caudal de diseño según el método racional.

Según la ecuación 2.12-1, la cual establece que:

$$Q = \frac{C * i * A}{3600}$$

Por lo que se asumen los siguientes valores

$C = 0,95$  para techos de edificios

$i = 200$  mm/hora, el cual se obtuvo de la figura 2.13 para lluvias con una duración de 15min y un periodo de retorno de 10 años.

$A = 40,2$  m<sup>2</sup> siendo esta el área tributaria para el dimensionamiento de frente 6m, altura 4m y largo 12m.

Con los valores anteriores se tiene que el caudal de diseño es de 2,12 l/s.

### **Diseño de la canoa y bajante**

#### **a. Canoa**

De acuerdo con la metodología para el diseño de canales revestidos y asumiendo una sección de canal rectangular con  $z=1$ , pendiente de fondo de un 1% y un “n” de Manning de 0,016.

Con la ecuación de Manning y despejando el factor de sección se tiene que:

$$AR^{2/3} = 3,392 \times 10^{-4}$$

Donde para una sección rectangular:

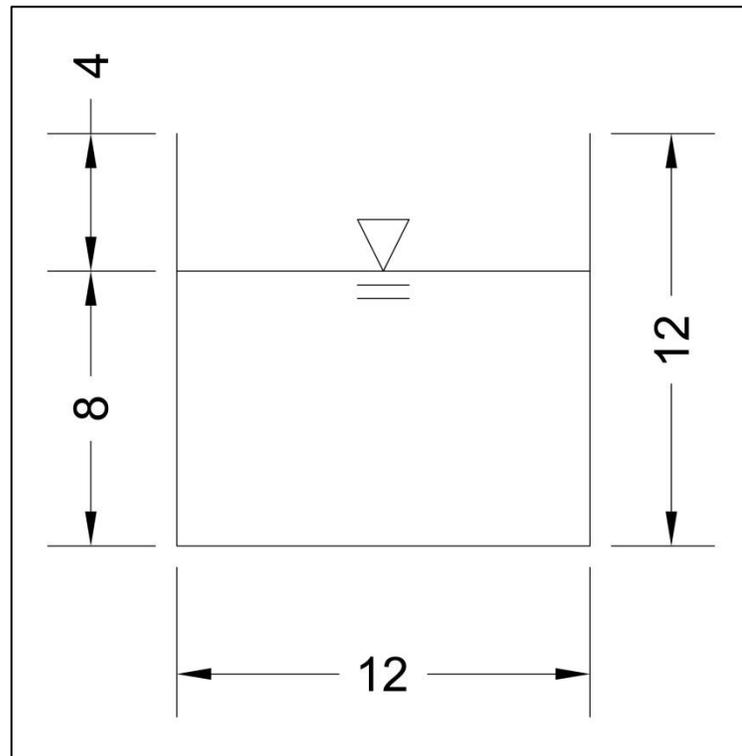
$$A = by$$

$$R = \frac{by}{b + 2y}$$

Para este caso  $y$  = profundidad del agua en el canal y  $b$ = ancho del fondo del canal, el cual se asume como 12cm. Despejando para “y” se obtiene:

$$y = 8cm$$

El borde libre recomendado para canales es un valor muy alto para la canoa por lo que se asume en 4cm, la sección final de la canoa será:



**Figura 3-23: Sección de la canoa**

Con la misma ecuación de Manning se revisa la velocidad en la canoa, la cual es de:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{s} = 0,6 \text{ m/s}$$

Esta velocidad cumple con el mínimo recomendado para evitar la sedimentación.

#### **b. Bajante**

Según el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (2010) del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos para un caudal de 2,12l/s recomienda que el bajante sea de un diámetro de 75mm.

# Capítulo 4

## Conclusiones y Recomendaciones

### 1. Conclusiones

De la presente investigación se desprenden una serie de conclusiones basadas en los diseños realizados, las que se detallan a continuación:

- ✓ Hay una deficiencia a nivel nacional en cuanto a normalización para este tipo de estructuras, así como la falta de un “Código de Viento”, similar al actual Código Sísmico, en donde se pueda establecer una zonificación de viento para el país y una metodología de cálculo moderna.
- ✓ Una vez evaluadas las distintas fuerzas que afectan las estructuras de invernadero propuestas y las combinaciones de carga, en aquellas combinaciones donde está presente la carga de viento son las que generan valores máximos, por lo cual es la fuerza de viento quien rige el diseño estructural.
- ✓ Según los distintos prototipos, conforme estos van aumentando su volumen se muestra disminución en los kilogramos de acero por metro cúbico por lo que aquellos invernaderos de mayor tamaño representan costos menores recuperando la inversión inicial en menor tiempo. Se pueden obtener reducciones del 30% en los  $\text{kg/m}^3$  comparando el prototipo de ancho 9m y altura a la canoa 5m con el de ancho 6m y altura a la canoa de 4m.
- ✓ Manteniendo los demás factores iguales y comparando únicamente la forma del techo, se observó en todos los casos disminución de la cantidad de acero en los invernaderos con el techo en arco por lo que esta configuración resulta más económica con respecto al techo en dos aguas.

- ✓ La forma del techo en arco genera mayor volumen de infraestructura y consecuentemente una mayor masa de aire dentro de este, lo que conlleva a mejores posibilidades para controlar el clima interno.
- ✓ En lo referente al sistema de cimentación, siendo el invernadero una estructura liviana y con gran área expuesta a las fuerzas de viento se generan importantes reacciones en succión sobre todo en las columnas de los vértices. Al diseñar la cimentación no solo se deben contemplar las cargas en compresión, sino también estas fuerzas en succión que tienden a sacar los cimientos del terreno.
- ✓ Para el caso de los invernaderos abiertos con velocidades de diseño de 100km/h, la presión sobre el plástico excede los esfuerzos de ruptura por lo tanto los apoyos no deben exceder 1,50m. Para no afectar el diseño y costo de la estructura es posible utilizar cables tensores que otorguen la distancia entre apoyos necesaria.

## **2. Recomendaciones**

A continuación se mencionan las recomendaciones que surgen de la realización de esta investigación.

- ✓ Es recomendable para realizar un diseño optimizado y económico establecer con la mayor certeza posible las condiciones del sitio de emplazamiento. No es recomendable un solo diseño para todo el país ya que las condiciones de viento y tipo de suelo son muy variantes a no ser que se acepte tener diferente riesgo. Patiño (2007) señala velocidades de viento desde 55km/h a 110km/h en la mayoría del país, más una zona de condición especial propensa a ser impactada por huracanes. Debe tenerse presente que la presión de viento aumenta exponencialmente con la velocidad por lo que genera un aumento directo en el costo de la instalación.

- ✓ Para el óptimo desempeño agronómico del invernadero es necesario realizar un diseño termodinámico que se ajuste a las condiciones del cultivo y del clima de la zona. Este diseño debe ser un complemento para el diseño estructural.
  
- ✓ El análisis y diseño formal de este tipo de instalaciones es muy intensivo, resultando costoso para un agricultor pequeño y mediano, por lo que se justifica mayor investigación en el diseño de instalaciones modulares de mayores dimensiones que puedan competir con los diseños realizados por casas internacionales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña C., J. F. (2003) **Diseño de invernaderos y manejo interno.** Unidad de publicaciones, Facultad de ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
2. American Concrete Institute (2008). **Requisitos para concreto estructural (ACI-318S-08) y comentario.** Estados Unidos de América: Autor.
3. American Institute of Steel Construction (2000). **AISI Manual, Cold Formed Steel Desing.** 3ª edición. Estados Unidos de América: Autor.
4. American Society of Civil Engineers (2010) . Minimum Desing Loads for Buildings and Other Structures ASCE/SEI 7-10. Estados Unidos de América: Autor.
5. Asociación costarricense de Geotecnia (2009). **Código de cimentaciones de Costa Rica.** 2ª edición. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
6. Beer F & Johnston R. (2007). **Mecánica de Materiales.** 4ª edición. México McGraw-Hill.
7. Beer F & Johnston R. (2007). **Mecánica vectorial para ingenieros, estática.** 8ª edición. México McGraw-Hill.
8. Braja M, D. (2006). **Principios de ingeniería de cimentaciones.** México: Thomson Editores, S.A.
9. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, comisión permanente de estudio y revisión del Código Sísmico de Costa Rica (2010). **Código Sísmico de Costa Rica 2010.** 4ª edición. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
10. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, comisión permanente de estudio y revisión del Código Sísmico de Costa Rica (2010). **Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.** 4ª edición. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
11. Entrevista con Erick González, Agricultor. Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 20 de octubre de 2010.
12. Entrevista con Francisco Marín Thiele, Ingeniero Agrónomo, Director PRONAP. Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 20 de octubre de 2010.

13. Entrevista con Guido Barquero, Ingeniero Agrónomo, representante de Novedades Agrícolas. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, 21 de junio de 2011.
14. Entrevista con Guillermo Murillo, Ingeniero Agrónomo, Asesor en Ambientes Protegidos. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, 21 de junio de 2011.
15. Entrevista con Paulo Martins Leal, Ingeniero Agrícola PhD, Profesor de la Universidad UNICAMP de Brasil. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, 17 de febrero del 2011.
16. Entrevista con Pedro Rojas, Agricultor. Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 20 de octubre de 2010.
17. Entrevista con Rodolfo Amador, Ingeniero Agrónomo, Administrador Sistema de Invernaderos de la Corporación Hortícola Nacional. Cartago, Costa Rica, 11 de enero del 2011.
18. Entrevista con Wilbert Lobo, Agricultor. Zarcero, Alajuela, Costa Rica, 20 de octubre de 2010.
19. Garza, L. (2000). **Diseño y Construcción de Cimentaciones**. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
20. Hellickson, M. (1983). **Ventilation of agricultural structures**. St. Joseph-MI-USA: ASAE.
21. Kiselov, V.A. (1983). **Mecánica de Construcción**. 3ª edición. Moscú, Editorial Mir.
22. McCormac, J. (2005). **Diseño de Concreto Reforzado**. 5ª edición. México: Alfa & Omega Grupo Editor.
23. McCormac, J. (2010). **Análisis de Estructuras, métodos clásico y matricial**. México Alfa & Omega Grupo Editor.
24. Ministerio de Agricultura y Ganadería (2009). **Programas nacionales, memorias del periodo 2006-2009**. San José, Costa Rica.

25. NGMA (2004). **National Greenhouse Manufacturers Association, Structural Desing Manual**. Harrisburg, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.ngma.com>.
26. Patiño Ruiz, M. (2007). **Mapa de velocidades de viento para Costa Rica**. Informe de trabajo para obtener el grado de licenciado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, San José.
27. Programa Nacional de Ambientes Protegidos (2008). **Cuantificación y Valoración de Estructuras y Procesos de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos en Costa Rica**. Informe final Proyecto FITTACORI F-02-08. Pág. 16.
28. Tesi, Romano. (2001). **Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo**. (Versión Española de J.M. Mateo Box). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa
29. Ugalde Bedoya, D. (2008). **Optimización de marcos y largueros en naves industriales de acero**. Informe de trabajo de graduación para obtener el grado de licenciado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. San José.
30. Vinnakota, S. (2006). **Estructuras de acero: comportamiento y LRFD**. México: McGraw-Hill

## Anexos

### Anexo A: Valores máximos por sección para el prototipo 1

Tabla A-1: Valores máximos para la sección arriostres de techo

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	-4,5	-0,99	-0,42	0,44	-0,96
ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	-3,08	-0,99	-0,42	0,86	0,63
ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	-1,66	-0,99	-0,42	1,27	1,63
ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	-0,25	-0,99	-0,42	1,69	2,03
ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	1,17	-0,99	-0,42	2,1	1,83
ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	-9,2	0,9	0,5	2,69	-5,52
ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	-7,78	0,9	0,5	2,32	-1,96
ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	-6,36	0,9	0,5	1,94	1
ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	-4,95	0,9	0,5	1,56	3,37
ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	-3,53	0,9	0,5	1,18	5,15
ATE14	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1717,79	11,09	-2,3	-0,65	2,23	-8,94
ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1163,7	-12,08	1,02	-0,66	2,17	-10,9
ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1998,37	-7,78	9,16	0,47	4,9	1,06
ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1998,37	-6,36	9,16	0,47	1,06	4,03
ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1998,37	-4,94	9,16	0,47	-2,78	6,4
ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1998,37	-3,52	9,16	0,47	-6,62	8,17
ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1998,37	-2,1	9,16	0,47	-10,45	9,35
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	-0,4	-9,13	1,65	-4,22	4,12
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	0,72	-9,13	1,65	-0,39	4,05
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	1,84	-9,13	1,65	3,44	3,51
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	2,97	-9,13	1,65	7,27	2,5
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	4,09	-9,13	1,65	11,1	1,03
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-8,4	5,98	-1,55	4,45	1,18
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-7,28	5,98	-1,55	1,94	4,47
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-6,16	5,98	-1,55	-0,56	7,29
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-5,04	5,98	-1,55	-3,07	9,64
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-3,91	5,98	-1,55	-5,58	11,51
ATE20	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1523,24	-0,7	-8,98	1,71	-4,1	4,09
ATE20	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1523,24	0,72	-8,98	1,71	-0,34	4,09
ATE20	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1523,24	2,14	-8,98	1,71	3,43	3,49
ATE20	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1523,24	3,55	-8,98	1,71	7,19	2,29
ATE20	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1523,24	4,97	-8,98	1,71	10,96	0,51
ATE6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	32,05	-8,22	-8,93	0,77	-10,51	-6,78
ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	4,09	-9,13	1,65	11,1	1,03
ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-3,91	5,98	-1,55	-5,58	11,51
ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1163,7	-12,08	1,02	-0,66	2,17	-10,9

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-2: Valores máximos para la sección arriostres entre marcos**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
AM10	0.95*CP+1.6*CV(2)	533,72	2,4	-3,18	1,21	7,99	-1,82
AM16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-720,56	2,49	0,66	0,24	-3,28	-0,86
AM17	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-138,1	-4,55	-1,47	-0,5	-3,95	-4,86
AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-245,68	6,04	-1,37	-0,68	-1,63	-2,99
AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-559,24	-1,31	-4,62	1,31	-9,12	1,14
AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-562,62	1,23	-4,62	1,31	-3,35	1,19
AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-566	3,77	-4,62	1,31	2,42	-1,93
0AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-703,43	-1,52	4,97	-1,3	9,55	0,63
AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-706,81	1,02	4,97	-1,3	3,33	0,94
AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-710,19	3,55	4,97	-1,3	-2,89	-1,92
AM6	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-216,99	-3,13	-3,91	1,87	-0,22	-1,71
AM6	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-213,61	-0,6	-3,91	1,87	4,67	0,62
AM6	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-210,23	1,94	-3,91	1,87	9,55	-0,22
AM9	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-287,99	-2,21	3,86	-1,87	9,52	-0,75
AM9	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-291,37	0,32	3,86	-1,87	4,69	0,43
AM9	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-294,75	2,86	3,86	-1,87	-0,13	-1,56
AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-559,24	-1,31	-4,62	1,31	-9,12	1,14
AM6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-53,03	1,84	-4,13	1,81	9,69	-0,04
AM17	0.95*CP+1.6*CV(1)	-133,53	-4,26	-1,62	-0,6	-4,01	-5,06
AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-238,92	0,97	-1,37	-0,68	-5,05	5,78

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-3: Valores máximos para la sección arriostres frontales**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
AF4	0.95*CP+1.6*CV(2)	2379,14	-2,83	-1,51	-1,9	7,65	3,49
AF21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2401,76	-2,38	-1,46	-0,95	4,55	2,22
AF3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	135,32	-11,56	18,47	1,03	-13,2	-5,42
AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-134,77	25,7	33,34	-1,02	8,2	-6,74
AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,92	4,71	-77,47	0,59	-39,43	4,88
AF19	0.95*CP+1.6*CV(1)	216,09	-1,74	72,55	-1,24	18,07	-0,6
AF41	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1141,46	-0,64	1,48	4,86	9,22	-0,53
AF41	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1142,31	0,63	1,48	4,86	8,55	-0,52
AF41	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1143,15	1,9	1,48	4,86	7,88	-1,09
AF42	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-997,77	-1,84	-27,71	-6,42	-7,99	0,17
AF42	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-998,61	-0,57	-27,71	-6,42	4,5	0,71
AF42	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-999,46	0,7	-27,71	-6,42	16,98	0,69
AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,92	4,71	-77,47	0,59	-39,43	4,88
AF51-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	20,97	23,99	-65,24	0,26	26,71	-11
AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-134,77	23,69	-16,02	-1,02	14,7	11,79
AF30	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	161,24	13,6	0,31	0,016	-0,32	-14

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-4: Valores máximos para la sección arriostres de triangulo de marco**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-)	M3 (kgf-)
AT14	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	1146,71	3,16	-0,007	0,004	0,001	0,65
AT3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-19,7	55,01	1,07	0,14	0,3	-16,2
AT25	0.95*CP+1.6*CV(2)	-159,17	-116,93	0,64	0,053	-0,19	49,98
AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-599,71	-0,03382	10,34	-0	2,43	-0
AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-598,44	-0,03382	10,34	-0	-1,44	0,009
AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-597,17	-0,03382	10,34	-0	-5,32	0,022
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-510,84	-2,7	-12,03	-1,72	-10,1	-1,71
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-513,37	-0,16	-12,03	-1,72	2,66	-0,19
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-515,91	2,37	-12,03	-1,72	15,42	-1,37
AT21	0.95*CP+1.6*CV(2)	62,08	-62,92	4,74	-2,2	1,81	-15,3
AT21	0.95*CP+1.6*CV(2)	61,08	-87,59	4,74	-2,2	0,029	12,92
AT21	0.95*CP+1.6*CV(2)	60,07	-112,27	4,74	-2,2	-1,75	50,39
AT24	0.95*CP+1.6*CV(2)	513,82	-2,18	4,61	2,5	2,11	-0,21
AT24	0.95*CP+1.6*CV(2)	511,81	-0,18	4,61	2,5	-2,78	1,04
AT24	0.95*CP+1.6*CV(2)	509,8	1,83	4,61	2,5	-7,67	0,17
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-510,84	-2,7	-12,03	-1,72	-10,1	-1,71
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-515,91	2,37	-12,03	-1,72	15,42	-1,37
AT21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-24,47	-114,47	4,01	-2,14	-1,51	50,79
AT25	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-275,18	-67,45	0,91	0,024	0,35	-19,3

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-5: Valores máximos para la sección columnas de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	267,8	42,22	-40,4	4,76	-15,45	15,05
CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	44,11	58,52	1,49	-38,76	-20
CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-35,24	109,08	18,44	0,96	-23,79	-66,9
CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-14,01	-119,05	-0,19	0,002	0,24	74,1
CP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	251,13	-46,94	-42,74	-4,78	18,44	20,92
CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	44,11	58,52	1,49	-38,76	-20
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	267,8	42,22	-40,4	4,76	-15,45	15,05
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	263,58	-2,34	1,04	4,76	9,14	-9,87
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	259,35	-46,9	42,48	4,76	-18,06	20,9
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-280,82	-38,08	-17,8	-5,57	5,59	-12,4
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-285,05	3,06	17,15	-5,57	6	9,49
CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-289,28	44,2	52,1	-5,57	-37,28	-20,1
CP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-282,05	-38,54	-18,06	-5,57	5,16	-13,2
CP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-285,39	2,6	16,89	-5,57	5,89	9,28
CP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-288,74	43,74	51,84	-5,57	-37,06	-19,7
CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-26,79	-55,44	18,44	0,96	22,32	0,15
CP2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-13,13	-55,57	18,44	0,96	22,32	-0,1
CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	44,11	58,52	1,49	-38,76	-20
CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-35,24	109,08	18,44	0,96	-23,79	-66,9
CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-14,01	-119,05	-0,19	0,002	0,24	74,1

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-6: Valores máximos para la sección columnas**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
COL1-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3362,36	58,2	91,19	24,61	31,83	2,43
COL5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	3258,69	66,16	-79,33	-13,6	-17,74	-0,05
COL1-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-519,47	-244,83	-78,74	-25,3	-24,83	-61,2
COL12-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-625,35	273,72	-67,72	18,92	-20,05	70,29
COL7-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	347,29	77,75	-390,9	2,4	-157,5	29,88
COL11-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-440,91	-26,11	443,33	2,64	-204,2	11,16
COL16-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2802,41	92,31	76,15	-45,4	8,83	42,8
COL16-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2801,18	84,08	76,15	-45,4	-10,2	20,75
COL16-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2799,95	75,85	76,15	-45,4	-29,24	0,76
COL16-5	0.95*CP+1.6*CV(2)	461,68	-43,75	-86,21	38,41	-21,19	-6,09
COL16-5	0.95*CP+1.6*CV(2)	460,7	-51,98	-86,21	38,41	0,36	5,88
COL16-5	0.95*CP+1.6*CV(2)	459,73	-60,21	-86,21	38,41	21,91	19,9
COL7-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-416,34	-5,03	442,25	-1,82	203,81	-2,9
COL9-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-426,04	-9,4	438,65	-0,08	-206,6	3,83
COL14-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-201,96	85,15	5,94	0,31	-0,53	-93,2
COL15-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1671,35	-196,89	6,17	-5,3	-9,76	144

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-7: Valores máximos para la sección cuerda inferior**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	-4,11	0,28	-0,06	0,2	1,86
CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	-2,42	0,28	-0,06	0,054	3,5
CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	-0,73	0,28	-0,06	-0,087	4,28
CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	0,96	0,28	-0,06	-0,23	4,22
CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	0,47	0,0054	-0,01	-0,055	1,43
CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	1,81	0,0054	-0,01	-0,058	0,86
CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	3,15	0,0054	-0,01	-0,061	-0,38
CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	4,49	0,0054	-0,01	-0,064	-2,28
CI3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	436,84	12,02	0,007	-0	-0,043	-6,08
CI4-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	686,82	-11,72	2,13	0,53	1,6	-8,68
CI1-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	62,95	-5,73	62,25	-0,61	16,74	-2,05
CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-401,09	2,4	-63,52	-2,17	18,64	-0,81
CI5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	470,61	-4,34	51,51	4,07	17,39	-1,52
CI5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	470,61	-2,65	18,6	4,07	-0,14	0,22
CI5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	470,61	-0,96	-14,3	4,07	-1,21	1,12
CI5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	470,61	0,73	-47,2	4,07	14,16	1,18
CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	187,08	1,2	37,91	-2,49	13,4	3,2
CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	187,08	2,89	14,78	-2,49	0,23	2,17
CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	187,08	4,58	-8,35	-2,49	-1,38	0,3
CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	187,08	6,27	-31,48	-2,49	8,58	-2,41
CI1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	67,84	7,85	59,76	0,011	-20,55	-4,54
CI5-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,62	7,4	-57,79	1,88	19,06	-4,1
CI2-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	314,85	-11,08	-0,63	-0,32	-0,4	-9,3
CI3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	436,84	6,94	0,007	-0	-0,033	8,14
CI3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-242,2	-10,7	0,6	0,076	0,4	-9,3

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-8: Valores máximos para la sección cuerda superior**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
CS5-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-1939,92	12,95	0,21	-0,18	-0,025	8,05
CS6-2	0.95*CP+1.6*CV(3)	996,19	-128,3	0,46	0,11	-0,48	32,7
CS6-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-1588,7	-139,3	0,48	0,032	0,41	-29,1
CS6-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-1609,76	144,49	-0,075	0,005	0,0225	-37,2
CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	333,9	39,16	29,32	-2,94	23,4	9,75
CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	326,31	2,77	29,32	-2,94	-1,19	-7,83
CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	318,72	-33,62	29,32	-2,94	-25,78	5,11
CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	342,1	38,72	-28,52	3,04	-21,85	9,62
CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	334,51	2,33	-28,52	3,04	2,06	-7,59
CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	326,92	-34,06	-28,52	3,04	25,98	5,71
CS2-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-223,13	-43,34	16,74	-4,17	21,54	-18,2
CS2-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-221,57	-5,74	16,74	-4,17	7,5	2,39
CS2-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-220	31,86	16,74	-4,17	-6,53	-8,56
CS10-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-190,13	-39,49	-20,52	6,72	-25,34	-13,3
CS10-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-188,56	-1,89	-20,52	6,72	-8,14	4,07
CS10-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-187	35,71	-20,52	6,72	9,07	-10,1
CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	318,72	-33,62	29,32	-2,94	-25,78	5,11
CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	326,92	-34,06	-28,52	3,04	25,98	5,71
CS6-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-714,17	-113,2	1,82	0,3	1,64	-46,8
CS8-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	396,96	138,89	0,93	1,22	1,34	50,57

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-9: Valores máximos para la sección elementos de cercha**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
EC1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-833,82	-1,26	-5,2	0,42	-5,66	0,14
EC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	460,84	-4,35	-0,24	0,95	0,29	-1,48
EC1	0.95*CP+1.6*CV(6)	-7,42	7,32	-8,87	-0,31	6,4	-4,7
EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-771,81	-22,89	10,32	-0,49	5,87	-12,7
EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-145,73	2,24	-8,88	-0,23	-8,48	3,46
EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-144,46	4,77	-8,88	-0,23	-1,04	0,53
EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-143,19	7,31	-8,88	-0,23	6,4	-4,54
EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-771,81	-22,89	10,32	-0,49	5,87	-12,7
EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-773,07	-20,35	10,32	-0,49	-2,78	5,44
EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-774,34	-17,81	10,32	-0,49	-11,43	21,44
EC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	457,89	-4,92	0,77	1,14	1,71	-2,08
EC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	456,62	-2,38	0,77	1,14	1,07	0,98
EC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	455,35	0,15	0,77	1,14	0,42	1,92
EC16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-221,21	-19,14	4,09	-1,32	2,42	-11,9
EC16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-223,74	-16,6	4,09	-1,32	-1,92	7,09
EC16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-226,28	-14,07	4,09	-1,32	-6,26	23,36
EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-774,34	-17,81	10,32	-0,49	-11,43	21,44
EC24	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-14,71	-12,18	-7,97	-0,28	7,75	15,56
EC8	0.95*CP+1.6*CV(2)	-636,36	-22,7	10,29	-0,42	5,86	-12,7
EC16	0.95*CP+1.6*CV(2)	-68,5	-14,9	4,01	-1,29	-6,22	23,96

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-10: Valores máximos para la sección largueros de techo**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-64,12	-38,58	-0,48	-18,26	-31,4
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-41,97	-26,21	-0,48	-2,06	-4,91
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-19,82	-13,84	-0,48	7,95	10,54
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	2,33	-1,47	-0,48	11,78	14,91
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	24,48	10,9	-0,48	9,42	8,21
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	46,64	23,26	-0,48	0,88	-9,57
LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	68,79	35,63	-0,48	-13,84	-38,4
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-34,66	-33,21	0,078	-15,11	-13,5
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-22,34	-22,17	0,078	-1,26	0,8
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-10,02	-11,13	0,078	7,06	8,89
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	2,3	-0,086	0,078	9,86	10,82
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	14,61	10,95	0,078	7,15	6,59
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	26,93	21,99	0,078	-1,09	-3,79
LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	39,25	33,03	0,078	-14,85	-20,3
LT3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	6,62	98,78	-7,47	-0,76	5,31	-24,4
LT3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-590,16	-96,57	-24,16	-1,37	-12,87	-25,6
LT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-625,66	-53,19	57,81	1,63	-27,04	16,83
LT2-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-626,37	53,09	-58,1	-1,63	-27,42	16,71
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	-79,87	-22,78	3,27	-8,77	-42,4
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	-54,29	-15,05	3,27	0,69	-8,87
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	-28,7	-7,32	3,27	6,28	11,88
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	-3,12	0,41	3,27	8,01	19,83
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	22,47	8,14	3,27	5,87	15
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	48,05	15,87	3,27	-0,13	-2,63
LT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	717,16	73,64	23,6	3,27	-10	-33,1
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	-75,41	-22,3	-3,45	-8,69	-35,3
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	-49,83	-14,57	-3,45	0,53	-4,01
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	-24,24	-6,84	-3,45	5,88	14,51
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	1,34	0,89	-3,45	7,37	20,23
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	26,93	8,62	-3,45	4,99	13,16
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	52,51	16,35	-3,45	-1,25	-6,7
LT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	732,46	78,1	24,08	-3,45	-11,36	-39,4
LT3-8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,06	70,39	51,63	1,28	-39,83	-19,9
LT5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	71,54	-44,62	-53,5	-0,86	29,53	28,38
LT1-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1510,13	-79,72	-22,46	0,85	-8,87	-43,9
LT1-4	0.95*CP+1.6*CV(6)	695,82	63,93	-31,37	1,22	-13,37	36,65

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-11: Valores máximos para la sección ventana cenital**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VC3	1.2*CP + 1.6*CT	43,86	82,02	0,92	0,5	-0,3	-28,3
VC3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-183,17	113,97	0,2	-0,4	0,34	33,72
VC7	1.2*CP + 1.6*CT	43,86	82,02	-0,93	-0,51	0,31	-28,3
VC4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-109,18	-152,63	2,71	1,52	-0,79	-47,1
VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	-6,12	171,81	1,78	-2,66	-0,98	-1,38
VC8	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-109,06	-152,63	-3,27	-1,41	0,92	-47,1
VC11	0.95*CP+1.6*CV(6)	4,74	-79,41	41,69	-1,2	-20,83	41,81
VC14	0.95*CP+1.6*CV(6)	4,69	79,42	-41,58	1,2	-20,67	41,82
VC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-53,36	-65,62	32,82	-19,4	-13,13	-22,8
VC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-53,12	-65,13	32,82	-19,4	-18,41	-12,3
VC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-52,88	-64,64	32,82	-19,4	-23,7	-1,82
VC10	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-53,5	-65,65	-32,16	19,4	13,48	-22,8
VC10	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-53,26	-65,16	-32,16	19,4	18,66	-12,3
VC10	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-53,02	-64,67	-32,16	19,4	23,84	-1,83
VC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-56,43	-50,14	30,49	-14,7	-24,63	-1,75
VC10	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-56,64	-50,18	-29,49	14,8	24,84	-1,76
VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	-6,49	171,03	1,78	-2,66	-0,41	53,82
VC11	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-32,82	94,39	14,86	1,82	-5,94	-47,5

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-12: Valores máximos para la sección ventana lateral**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-4,12	-97,9	-0,11	-48,31	-1,82
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-2,43	-65,28	-0,11	-7,51	-0,18
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-0,74	-32,66	-0,11	16,97	0,62
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	0,95	-0,038	-0,11	25,14	0,57
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	2,64	32,58	-0,11	17,01	-0,33
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	4,33	65,2	-0,11	-7,44	-2,07
VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	6,02	97,82	-0,11	-48,19	-4,66
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-7,48	108,87	-0,02	42,44	-7,69
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-6,14	70,21	-0,02	-2,33	-4,28
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-4,8	31,54	-0,02	-27,76	-1,55
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-3,46	-7,13	-0,02	-33,86	0,51
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-2,12	-45,8	-0,02	-20,63	1,91
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-0,78	-84,47	-0,02	11,93	2,64
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	0,56	-123,1	-0,02	63,83	2,69
VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	105,98	9,28	130	0,3	-65,68	-7,85
VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-10,56	-131,5	-0,37	-66,8	-9,59
VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	105,98	9,28	130	0,3	-65,68	-7,85
VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-10,56	-131,5	-0,37	-66,8	-9,59
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	-5,88	-119,2	-2,73	-51,35	-5,46
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	-4,55	-77,97	-2,73	-2,04	-2,86
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	-3,21	-36,7	-2,73	26,63	-0,92
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	-1,87	4,57	-2,73	34,66	0,35
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	-0,53	45,84	-2,73	22,06	0,95
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	0,81	87,12	-2,73	-11,18	0,88
VL4-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	160,4	2,15	128,39	-2,73	-65,06	0,14
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	-1,04	-129,6	2,76	-66,09	1,57
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	0,3	-88,33	2,76	-11,61	1,75
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	1,64	-47,06	2,76	22,24	1,26
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	2,98	-5,79	2,76	35,45	0,11
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	4,32	35,49	2,76	28,02	-1,71
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	5,66	76,76	2,76	-0,038	-4,21
VL4-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	189,6	6,99	118,03	2,76	-48,73	-7,37
VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	0,56	-123,1	-0,02	63,83	2,69
VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-10,56	-131,5	-0,37	-66,8	-9,59
VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-10,56	-131,5	-0,37	-66,8	-9,59
VL3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	137,14	-1,62	116,33	-0,6	-44,01	7,64

Fuente: Autor, datos de SAP2000

**Tabla A-13: Valores máximos para la sección viga de puerta**

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	-0,77	118,66	0,38	52,87	1,05
VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	0,63	88,95	0,38	0,97	1,09
VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	2,04	59,24	0,38	-36,08	0,42
VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	3,44	29,53	0,38	-58,28	-0,95
VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	5,42	24,61	1,81	49,72	6,28
VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	6,89	54,09	1,81	30,04	3,21
VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	8,36	83,57	1,81	-4,37	-0,6
VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	9,83	113,05	1,81	-53,52	-5,15
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	37,28	-42,26	-12,79	-0,47	19,83	-11,3
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	7,49	47,22	19	0,16	-11,56	-14,4
VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	44,9	-6,3	118,73	0,25	52,91	0,17
VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	26,44	19,88	-122,3	-0,01	-69,58	18,84
VP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,33	-6,07	24,84	1,9	49,84	4,14
VP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,33	3,29	54,32	1,9	30,05	4,83
VP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,33	12,64	83,8	1,9	-4,48	0,85
VP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,33	22	113,28	1,9	-53,75	-7,81
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	37,28	-42,26	-12,79	-0,47	19,83	-11,3
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	37,28	-16,4	11,38	-0,47	20,19	3,37
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	37,28	9,46	35,54	-0,47	8,46	5,1
VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	37,28	35,31	59,71	-0,47	-15,36	-6,09
VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	26,44	19,88	-122,3	-0,01	-69,58	18,84
VP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	44,7	5,87	-118,9	-0,22	53,11	0,59
VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,15	30,92	-39,92	-0,14	52,05	-16
VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	26,44	19,88	-122,3	-0,01	-69,58	18,84

Fuente: Autor, datos de SAP2000

Tabla A-14: Valores máximos para la sección viga de techo

Etiqueta	Combinación de carga	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-3,76	-3,65	0,22	-5,62	-1,11
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-2,42	-3,65	0,22	-3,80	0,44
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-1,08	-3,65	0,22	-1,97	1,31
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	0,26	-3,65	0,22	-0,15	1,52
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	1,59	-3,65	0,22	1,68	1,06
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	2,93	-3,65	0,22	3,50	-0,08
VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	4,27	-3,65	0,22	5,33	-1,88
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-11,41	2,52	-0,01	4,26	-8,29
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-9,72	2,52	-0,01	3,01	-3,01
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-8,03	2,52	-0,01	1,75	1,43
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-6,34	2,52	-0,01	0,49	5,02
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-4,65	2,52	-0,01	-0,77	7,77
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-2,96	2,52	-0,01	-2,03	9,67
VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-1,27	2,52	-0,01	-3,29	10,72
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	-76,59	6,49	0,41	-0,05	-0,61	-3,81
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-13,24	5,61	-0,17	8,02	-9,87
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	-4,75	-4,69	0,16	-7,16	-1,70
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	-3,06	-4,69	0,16	-4,82	0,25
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	-1,37	-4,69	0,16	-2,47	1,36
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	0,32	-4,69	0,16	-0,12	1,63
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	2,01	-4,69	0,16	2,22	1,04
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	3,70	-4,69	0,16	4,57	-0,38
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	355,62	5,39	-4,69	0,16	6,91	-2,66
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-13,24	5,61	-0,17	8,02	-9,87
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-11,55	5,61	-0,17	5,21	-3,68
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-9,85	5,61	-0,17	2,41	1,67
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-8,16	5,61	-0,17	-0,40	6,18
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-6,47	5,61	-0,17	-3,20	9,84
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-4,78	5,61	-0,17	-6,01	12,65
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-3,09	5,61	-0,17	-8,82	14,62
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	-5,86	-2,81	0,43	-4,39	-3,43
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	-4,17	-2,81	0,43	-2,98	-0,92
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	-2,48	-2,81	0,43	-1,58	0,74
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	-0,79	-2,81	0,43	-0,17	1,56
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	0,90	-2,81	0,43	1,23	1,54
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	2,59	-2,81	0,43	2,64	0,66
VT1-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-372,02	4,28	-2,81	0,43	4,04	-1,06
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	-7,47	3,37	-0,42	4,70	-4,03
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	-5,78	3,37	-0,42	3,01	-0,71
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	-4,09	3,37	-0,42	1,32	1,76
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	-2,40	3,37	-0,42	-0,36	3,38
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	-0,71	3,37	-0,42	-2,05	4,16
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	0,98	3,37	-0,42	-3,74	4,09
VT1-4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-351,89	2,67	3,37	-0,42	-5,42	3,18
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-13,24	5,61	-0,17	8,02	-9,87
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-3,09	5,61	-0,17	-8,82	14,62
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-13,24	5,61	-0,17	8,02	-9,87
VT2-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	421,11	-4,38	5,59	-0,16	-8,79	15,52

Fuente: Autor, datos de SAP2000

## Anexo B: Revisión de los elementos según diseño de acero

**Tabla B-1: Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación de Carga	Mx	My	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus		wf	L/wf	Ix	Sx	Mn	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus	
			(kgf-m)	(kgf-m)	(kgf-m)		(kgf-m)	Mx	My	(cm)		(cm4)	(cm3)	(kgf-m)	(kgf-m)		M2	M3	
Arriostres de puerta	AP5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-20,9	-5,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	29,7	6,3	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	17,3	7,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-20,5	-6,7	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	62,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Arriostres de techo	ATE6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-10,5	-6,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	11,1	1,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-5,6	11,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,2	-10,9	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Arriostres entre marcos	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-9,1	1,1	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AM6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	9,7	0,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AM17	0.95*CP+1.6*CV(1)	-4,0	-5,1	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-5,1	5,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Arriostres frontales	AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-39,4	4,9	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AF51-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,7	-11,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	32,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	14,7	11,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	32,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AF30	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-0,3	-14,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	91,4	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Arriostres triangulo de marco	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,1	-1,7	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	91,4	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	15,4	-1,4	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	91,4	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AT21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,5	50,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	32,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	AT25	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	0,4	-19,3	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	32,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-2: Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación de Carga	M2	M3	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus		wf	L/wf	Ix	Sx	Mn	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus	
			(kgf-m)	(kgf-m)	(kgf-m)		(kgf-m)	M2	M3	(cm)		(cm4)	(cm3)	(kgf-m)	(kgf-m)		M2	M3	
Columna de puerta	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	22,3	0,2	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(2)	22,3	-0,1	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-38,8	-20,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-23,8	-66,9	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	107,8	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Columnas	COL7-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	203,8	-2,9	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	14,6	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	COL9-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-206,6	3,8	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	14,6	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	COL14-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-0,5	-93,2	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	21,9	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	COL15-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-9,8	144,0	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	29,2	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
Cuerda inferior	C11-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-20,6	-4,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	C15-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	19,1	-4,1	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	C12-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,4	-9,3	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	C13-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	0,0	8,1	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Cuerda superior	CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-25,8	5,1	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,0	5,7	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	CS6-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,6	-46,8	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	CS8-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	1,3	50,6	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
Elementos de cercha	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-11,4	21,4	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	EC24	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	7,8	15,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	EC8	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,9	-12,7	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	EC16	0.95*CP+1.6*CV(2)	-6,2	24,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	72,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-3: Revisión de miembros a flexión para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación de Carga	M2	M3	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus		wf	L/wf	Ix	Sx	Mn	Mn	Φb	Φb*Mn	Estatus	
			(kgf-m)	(kgf-m)	(kgf-m)		(kgf-m)	M2	M3	(cm)		(cm4)	(cm3)	(kgf-m)	(kgf-m)		M2	M3	
Largueros de techo	LT3-8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-39,8	-19,9	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	LT5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	29,5	28,4	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	LT1-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-8,9	-43,9	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
	LT1-4	0.95*CP+1.6*CV(6)	-13,4	36,7	259,8	0,95	246,8	OK	OK	3,4	87,7	56,8	15,8	358,1	250,6	0,95	238,1	OK	OK
Ventana cenital	VC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-24,6	-1,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	13,9	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VC10	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	24,8	-1,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	13,9	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	-0,4	53,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	13,9	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VC11	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-5,9	-47,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Ventana lateral	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	63,8	2,7	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-66,8	-9,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-66,8	-9,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VL3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-44,0	7,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Viga de puerta	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-69,6	18,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	53,1	0,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	52,1	-16,0	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-69,6	18,8	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	64,7	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
Viga de techo	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	8,0	-9,9	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-8,8	14,6	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	8,0	-9,9	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK
	VT2-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-8,8	15,5	120,1	0,95	114,1	OK	OK	2,3	129,3	16,9	6,7	153,1	114,4	0,95	108,7	OK	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-4: Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación	P (Kgf)	Fe (MPa)	λc	Fn (MPa)	λ	p	b(cm)	Ae (cm2)	Carga Nominal	Carga Permissible	P (Kgf)	Estatus
						λc ≤ 1,5			λ ≤ 0,673; b=w		Pn = Ae*Fn (kgf)	Pa=ΦPn		
Arriostres de puerta	AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,4	354,9	0,8	173,7	0,3	1,0	3,9	3,3	5783,5	4916,0	619,4	OK
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	354,9	0,8	173,7	0,3	1,0	3,9	3,3	5783,5	4916,0	477,7	OK
Arriostres de techo	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2002,0	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2002,0	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2002,0	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2002,0	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2002,0	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2002,0	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2002,0	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2002,0	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2002,0	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2002,0	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,1	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	1728,1	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,1	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	1728,1	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,1	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	1728,1	OK
Arriostres entre marcos	AM10	0.95*CP+1.6*CV(2)	533,7	120,6	1,4	103,3	0,3	0,6	3,9	3,3	3439,2	2923,3	533,7	OK
	AM16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-720,6	120,6	1,4	103,3	0,3	0,6	3,9	3,3	3439,2	2923,3	720,6	OK
Arriostres frontales	AF4	0.95*CP+1.6*CV(2)	2379,1	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2379,1	OK
	AF21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2401,8	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	2401,8	OK
Arriostres triangulo de marco	AT12	0.95*CP+1.6*CV(6)	-1005,3	167,6	1,2	128,8	0,3	0,8	3,9	3,3	4287,7	3644,6	1005,3	OK
	AT14	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	1146,7	167,6	1,2	128,8	0,3	0,8	3,9	3,3	4287,7	3644,6	1146,7	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-5: Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación	P	Fe	$\lambda c$	F <sub>n</sub> (MPa)	$\lambda$	$\rho$	b(cm)	Ae (cm <sup>2</sup> )	Carga Nominal	Carga Permisible	P (Kgf)	Estatus
			(Kgf)	(MPa)		$\lambda c \leq 1,5$			$\lambda \leq 0,673; b=w$		P <sub>n</sub> = Ae*F <sub>n</sub> (kgf)	Pa=QP <sub>n</sub>		
Columna de puerta	CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	267,8	120,6	1,4	103,3	0,3	0,6	3,9	3,3	3439,2	2923,3	267,8	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,1	120,6	1,4	103,3	0,3	0,6	3,9	3,3	3439,2	2923,3	298,1	OK
Columnas	COL1-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3362,4	718,2	0,6	198,9	0,6	1,1	6,1	4,9	9774,6	8308,4	3362,4	OK
	COL5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	3258,7	718,2	0,6	198,9	0,6	1,1	6,1	4,9	9774,6	8308,4	3258,7	OK
Cuerda inferior	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	1924,4	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	1924,4	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	1924,4	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	1924,4	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	754,4	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	754,4	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	754,4	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,4	335,1	0,8	171,0	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	754,4	OK
Cuerda superior	CS5-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-1939,9	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1939,9	OK
	CS6-2	0.95*CP+1.6*CV(3)	996,2	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	996,2	OK
Elementos de cercha	EC1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-833,8	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	833,8	OK
	EC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	460,8	268,1	0,9	159,3	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	460,8	OK
Largueros de techo	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	2171,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	179,6	1,1	133,7	0,5	1,1	6,1	4,9	6572,6	5586,7	1816,4	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-6: Revisión de miembros a compresión para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación	P	Fe	$\lambda_c$	Fn (MPa)		$\lambda$	$\rho$	b(cm)	Ae (cm <sup>2</sup> )	Carga Nominal	Carga Permissible	P (Kgf)	Estatus
			(Kgf)	(MPa)		$\lambda_c \leq 1,5$	$\lambda_c > 1,5$			$\lambda \leq 0,673; b=w$		Pn = Ae*Fn (kgf)	Pa=ΦPn		
Ventana cenital	VC3	1.2*CP + 1.6*CT	43,9	268,1	0,9	159,3	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	43,9	OK
	VC3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-183,2	268,1	0,9	159,3	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	183,2	OK
	VC7	1.2*CP + 1.6*CT	43,9	268,1	0,9	159,3	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5303,4	4507,9	43,9	OK
Ventana lateral	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,4	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	443,4	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,9	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	139,9	OK
	Viga de puerta	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,2	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	45,2
VP1		0.95*CP+1.6*CV(1)	45,2	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	45,2	OK
VP1		0.95*CP+1.6*CV(1)	45,2	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	45,2	OK
VP1		0.95*CP+1.6*CV(1)	45,2	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	45,2	OK
VP3		0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	35,6	OK
VP3		0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	35,6	OK
VP3		0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	335,1	0,8	171,0	-	0,3	1,0	3,9	3,3	5693,1	4839,1	35,6	OK
Viga de techo	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,7	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	723,7	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,1	83,8	1,6	-	73,5	0,2	0,0	3,9	3,3	2446,8	2079,8	1233,1	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-7: Revisión de cortante para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	Sección	w	t	w/t	kv	E	Fy	Vn	Estatus
			(Kgf)	(Kgf)		(cm)	(cm)			(MPa)	(MPa)	(kgf)	
Arriostres de puerta	AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	9,11	18,98	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	6,17	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	7,17	31,75	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,02	-17,31	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,98	-17,31	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Arriostres de techo	ATE14	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	11,09	-2,30	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-12,08	1,02	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-7,78	9,16	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-6,36	9,16	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,94	9,16	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3,52	9,16	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2,10	9,16	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,40	-9,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,72	-9,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1,84	-9,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Arriostres entre marcos	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	2,97	-9,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	4,09	-9,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM17	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-4,55	-1,47	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	6,04	-1,37	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,31	-4,62	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,23	-4,62	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,77	-4,62	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Arriostres frontales	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,52	4,97	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,02	4,97	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,55	4,97	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AF3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-11,56	18,47	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	25,70	33,34	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	4,71	-77,47	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Arriostres triangulo de marco	AF19	0.95*CP+1.6*CV(1)	-1,74	72,55	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	55,01	1,07	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT25	0.95*CP+1.6*CV(2)	-116,93	0,64	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03	10,34	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03	10,34	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03	10,34	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2,70	-12,03	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-0,16	-12,03	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,37	-12,03	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK	

Fuente: Autor

**Tabla B-8: Revisión de cortante para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	Sección	w	t	w/t	kv	E	Fy	Vn	Estatus
			(Kgf)	(Kgf)		(cm)	(cm)			(MPa)	(MPa)	(kgf)	
Columna de puerta	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,08	18,44	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-119,05	-0,19	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CP3	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-46,94	-42,74	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	44,11	58,52	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Columna	COL1-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-244,83	-78,74	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	COL12-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	273,72	-67,72	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	COL7-1	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	77,75	-390,94	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	COL11-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-26,11	443,33	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
Cuerda inferior	CI3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	12,02	0,01	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CI4-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-11,72	2,13	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CI1-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-5,73	62,25	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,40	-63,52	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Cuerda superior	CS6-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-139,30	0,48	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS6-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	144,49	-0,08	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	39,16	29,32	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,77	29,32	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-33,62	29,32	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	38,72	-28,52	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	CS9-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,33	-28,52	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
Elementos de cercha	EC1	0.95*CP+1.6*CV(6)	7,32	-8,87	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-22,89	10,32	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	2,24	-8,88	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	4,77	-8,88	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	7,31	-8,88	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-22,89	10,32	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-20,35	10,32	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-17,81	10,32	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-9: Revisión de cortante para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	Sección	w	t	w/t	kv	E	Fy	Vn	Estatus
			(Kgf)	(Kgf)		(cm)	(cm)			(MPa)	(MPa)	(kgf)	
Largueros de techo	LT3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	98,78	-7,47	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	LT3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-96,57	-24,16	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	LT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-53,19	57,81	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
	LT2-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	53,09	-58,10	72x72x1,8	6,12	0,18	34,00	5,34	203000,00	227,00	1500,38	OK
Ventana cenital	VC4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-152,63	2,71	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	171,81	1,78	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VC8	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-152,63	-3,27	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VC11	0.95*CP+1.6*CV(6)	-79,41	41,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Ventana lateral	VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	9,28	130,00	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	9,28	130,00	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Viga de puerta	VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	-42,26	-12,79	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	47,22	19,00	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-6,30	118,73	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	19,88	-122,26	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
Viga de techo	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	6,49	0,41	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-13,24	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,75	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3,06	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,37	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	0,32	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,01	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,70	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	5,39	-4,69	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-13,24	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-11,55	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-9,85	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-8,16	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-6,47	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,78	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK	
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3,09	5,61	50x50x1,8	3,92	0,18	21,78	5,34	203000,00	227,00	961,03	OK	

Fuente: Autor

**Tabla B-10: Revisión de tensión para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	Sección	Fy	Fu	Ag	Tensión nominal		Estatus
			(Kgf)		(MPa)	(MPa)	(cm <sup>2</sup> )	Sección total	Sección neta	
Arriostres de puerta	AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,38	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Arriostres de techo	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Arriostres entre marcos	AM10	0.95*CP+1.6*CV(2)	533,72	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	AM16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-720,56	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Arriostres frontales	AF4	0.95*CP+1.6*CV(2)	2379,14	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	AF21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2401,76	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Arriostres triangulo de marco	AT12	0.95*CP+1.6*CV(6)	-1005,33	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	AT14	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	1146,71	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Columna de puerta	CP1	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	267,8	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Columnas	COL1-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3362,36	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	COL5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	3258,69	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-11: Revisión de tensión para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	Sección	Fy	Fu	Ag	Tensión nominal		Estatus
			(Kgf)		(MPa)	(MPa)	(cm <sup>2</sup> )	Sección total	Sección neta	
Cuerda inferior	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Cuerda superior	CS5-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-1939,92	72x72x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	CS6-2	0.95*CP+1.6*CV(3)	996,19	72x72x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Elementos de cercha	EC1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-833,82	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	EC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	460,84	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Largueros de techo	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	72x72x1,8	227	310	4,92	10041,35	11427,38	OK
Ventana cenital	VC3	1.2*CP + 1.6*CT	43,86	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VC3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-183,17	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VC7	1.2*CP + 1.6*CT	43,86	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-12: Revisión de tensión para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	Sección	Fy	Fu	Ag	Tensión nominal		Estatus
			(Kgf)		(MPa)	(MPa)	(cm <sup>2</sup> )	Sección total	Sección neta	
Ventana lateral	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Viga de puerta	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
Viga de techo	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK
	VT3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	50x50x1,8	227	310	3,33	6803,19	7742,25	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-13: Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	M2	M3	Sección	Ae (cm2)	Pno (kgf)	Pn (kgf)	Pex = Pey(kgf)	Mnx = Mny (kgf-m)	Cm	αx = αy	Revisión Eq. 6,61	Estatus	Revisión Eq. 6,62	Estatus
			Kgf	Kgf-m	Kgf-m												
Arriostres de puerta	AP7	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-619,38	16	-0,4	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,05	OK
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(1)	477,7	1,97	-1,47	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,04	OK
	AP5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-337,89	-20,89	-5,5	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,03	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	372,4	29,74	6,3	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,04	OK
	AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	161,69	17,34	7,83	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-315,22	-20,49	-6,72	50x50x1,8	3,3	7559,1	5783,5	11880,4	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK
Arriostres de techo	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	0,44	-0,96	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	0,86	0,63	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	1,27	1,63	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	1,69	2,03	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK
	ATE13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2001,98	2,1	1,83	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	2,69	-5,52	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,2	OK	0,13	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	2,32	-1,96	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,2	OK	0,13	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	1,94	1	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,2	OK	0,13	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	1,56	3,37	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,2	OK	0,13	OK
	ATE15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1728,07	1,18	5,15	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,2	OK	0,13	OK
	ATE6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	32,05	-10,51	-6,78	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1539,45	11,1	1,03	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,7	0,2	OK	0,12	OK
	ATE18	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1289,22	-5,58	11,51	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,3	0,1	OK	0,10	OK
	ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1163,7	2,17	-10,87	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,09	OK
Arriostres entre marcos	AM10	0.95*CP+1.6*CV(2)	533,72	7,99	-1,82	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	0,8	0,1	OK	0,04	OK
	AM16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-720,56	-3,28	-0,86	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,3	0,1	OK	0,05	OK
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-559,24	-9,12	1,14	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,04	OK
	AM6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-53,03	9,69	-0,04185	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	AM17	0.95*CP+1.6*CV(1)	-133,53	-4,01	-5,06	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,01	OK
	AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-238,92	-5,05	5,78	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,02	OK
Arriostres frontales	AF4	0.95*CP+1.6*CV(2)	2379,14	7,65	3,49	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,5	0,3	OK	0,18	OK
	AF21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2401,76	4,55	2,22	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,5	0,3	OK	0,18	OK
	AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,92	-39,43	4,88	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	AF51-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	20,97	26,71	-10,97	50x50x1,8	3,3	7559,1	7041,9	44879,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-134,77	14,7	11,79	50x50x1,8	3,3	7559,1	7041,9	44879,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	AF30	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	161,24	-0,32	-14,02	50x50x1,8	3,3	7559,1	4287,7	5610,0	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,02	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-14: Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	M2	M3	Sección	Ae (cm2)	Pno (kgf)	Pn (kgf)	Pex = Pey(kgff)	Mnx = Mny (kgf-m)	Cm	αx = αy	Revisión Eq. 6,61	Estatus	Revisión Eq. 6,62	Estatus
			Kgf	Kgf-m	Kgf-m												
Arriostres triangulo de marco	AT12	0.95*CP+1.6*CV(6)	-1005,33	0,02802	-2,13	50x50x1,8	3,3	7559,1	4287,7	5610,0	1593,4	0,9	1,3	0,1	OK	0,07	OK
	AT14	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	1146,71	0,001039	0,65	50x50x1,8	3,3	7559,1	4287,7	5610,0	1593,4	0,9	0,6	0,1	OK	0,08	OK
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-510,84	-10,1	-1,71	50x50x1,8	3,3	7559,1	4287,7	5610,0	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,04	OK
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-515,91	15,42	-1,37	50x50x1,8	3,3	7559,1	4287,7	5610,0	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,04	OK
	AT21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-24,47	-1,51	50,79	50x50x1,8	3,3	7559,1	7041,9	44879,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	AT25	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-275,18	0,35	-19,27	50x50x1,8	3,3	7559,1	7041,9	44879,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK
Columna de puerta	CP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	267,8	-15,45	15,05	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	0,9	0,1	OK	0,03	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	-38,76	-20,03	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,04	OK
	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-26,79	22,32	0,15	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-13,13	22,32	-0,09769	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-298,06	-38,76	-20,03	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,04	OK
	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-35,24	-23,79	-66,9	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,04	OK
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-14,01	0,24	74,1	50x50x1,8	3,3	7559,1	3439,2	4039,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK
Columnas	COL1-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3362,36	31,83	2,43	72x72x1,8	4,9	11157,1	9774,6	35395,7	250,1	0,9	1,2	0,3	OK	0,25	OK
	COL5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	3258,69	-17,74	-0,05347	72x72x1,8	4,9	11157,1	9774,6	35395,7	250,1	0,9	0,8	0,2	OK	0,20	OK
	COL7-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-416,34	203,81	-2,9	72x72x1,8	4,9	11157,1	10994,3	318561,2	250,1	0,9	1,0	0,4	OK	0,52	OK
	COL9-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-426,04	-206,59	3,83	72x72x1,8	4,9	11157,1	10994,3	318561,2	250,1	0,9	1,0	0,4	OK	0,53	OK
	COL14-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-201,96	-0,53	-93,2	72x72x1,8	4,9	11157,1	10794,1	141582,8	250,1	0,9	1,0	0,2	OK	0,23	OK
COL15-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1671,35	-9,76	143,96	72x72x1,8	4,9	11157,1	10520,0	79640,3	250,1	0,9	1,0	0,4	OK	0,45	OK	
Cuerda inferior	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	0,2	1,86	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,7	0,2	OK	0,14	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	0,05404	3,5	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,7	0,2	OK	0,14	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	-0,08695	4,28	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,7	0,2	OK	0,14	OK
	CI3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1924,42	-0,23	4,22	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,7	0,2	OK	0,14	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	-0,05549	1,43	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,06	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	-0,0582	0,86	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,06	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	-0,06091	-0,38	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,06	OK
	CI3-3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-754,43	-0,06361	-2,28	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,06	OK
	CI1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	67,84	-20,55	-4,54	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	CI5-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,62	19,06	-4,1	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	CI2-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	314,85	-0,4	-9,3	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,03	OK
	CI3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	436,84	-0,03307	8,14	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,04	OK
	CI3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-242,2	0,4	-9,3	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK
	Cuerda superior	CS5-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-1939,92	-0,02455	8,05	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,12
CS6-2		0.95*CP+1.6*CV(3)	996,19	-0,48	32,7	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,8	0,2	OK	0,13	OK
CS1-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	318,72	-25,78	5,11	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,9	0,1	OK	0,09	OK
CS9-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	326,92	25,98	5,71	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,9	0,1	OK	0,09	OK
CS6-1		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-714,17	1,64	-46,8	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,1	0,1	OK	0,15	OK
CS8-1		0.95*CP+1.6*CV(1)	396,96	1,34	50,57	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,9	0,1	OK	0,14	OK
Elementos de cercha	EC1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-833,82	-5,66	0,14	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,06	OK
	EC2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	460,84	0,29	-1,48	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,03	OK
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-774,34	-11,43	21,44	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,2	0,1	OK	0,07	OK
	EC24	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-14,71	7,75	15,56	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
	EC8	0.95*CP+1.6*CV(2)	-636,36	5,86	-12,74	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,05	OK
	EC16	0.95*CP+1.6*CV(2)	-68,5	-6,22	23,96	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK

Fuente: Autor

**Tabla B-15: Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	M2	M3	Sección	Ae (cm2)	Pno (kgf)	Pn (kgf)	Pex = Pey(kgf)	Mnx = Mny (kgf-m)	Cm	αx = αy	Revisión Eq. 6,61	Estatus	Revisión Eq. 6,62	Estatus	
			Kgf	Kgf-m	Kgf-m													
Largueros de techo	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-18,26	-31,43	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,4	OK	0,23	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-2,06	-4,91	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,2	OK	0,12	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	7,95	10,54	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,3	OK	0,15	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	11,78	14,91	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,3	OK	0,17	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	9,42	8,21	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,2	OK	0,15	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	0,88	-9,57	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,2	OK	0,13	OK	
	LT1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2171,44	-13,84	-38,43	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,6	0,4	OK	0,23	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-15,11	-13,45	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,16	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-1,26	0,8	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,10	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	7,06	8,89	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,13	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	9,86	10,82	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,14	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	7,15	6,59	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,12	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-1,09	-3,79	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,10	OK	
	LT5-2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1816,4	-14,85	-20,34	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,4	0,2	OK	0,17	OK	
	LT3-8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,06	-39,83	-19,91	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,0	0,1	OK	0,14	OK	
	LT5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	71,54	29,53	28,38	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	1,0	0,1	OK	0,14	OK	
	LT1-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	1510,13	-8,87	-43,89	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,7	0,3	OK	0,20	OK	
	LT1-4	0.95*CP+1.6*CV(6)	695,82	-13,37	36,65	72x72x1,8	4,9	11157,1	6572,6	8848,9	250,1	0,9	0,9	0,2	OK	0,15	OK	
	Ventana cenital	VC3	1.2*CP + 1.6*CT	43,86	-0,3	-28,32	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK
		VC3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-183,17	0,34	33,72	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK
VC7		1.2*CP + 1.6*CT	43,86	0,31	-28,33	50x50x1,8	3,3	7559,1	5303,4	8975,3	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK	
VC2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-56,43	-24,63	-1,75	50x50x1,8	3,3	7559,1	7461,0	243475,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK	
VC10		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-56,64	24,84	-1,76	50x50x1,8	3,3	7559,1	7461,0	243475,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,01	OK	
VC4		0.95*CP+1.6*CV(6)	-6,49	-0,41	53,82	50x50x1,8	3,3	7559,1	7461,0	243475,1	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
VC11		1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-32,82	-5,94	-47,52	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
VC11		1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-32,82	-5,94	-47,52	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
Ventana lateral	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-48,31	-1,82	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,05	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-7,51	-0,18	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	16,97	0,62	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	25,14	0,57	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	17,01	-0,33	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-7,44	-2,07	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	
	VL1-3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	443,43	-48,19	-4,66	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,05	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	42,44	-7,69	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,03	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-2,33	-4,28	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,01	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-27,76	-1,55	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,02	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-33,86	0,51	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,02	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	-20,63	1,91	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,02	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	11,93	2,64	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,0	OK	0,02	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	63,83	2,69	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,04	OK	
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-139,85	63,83	2,69	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,1	0,1	OK	0,04	OK	
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-66,8	-9,59	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,9	0,1	OK	0,04	OK	
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	153,77	-66,8	-9,59	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,9	0,1	OK	0,04	OK	
	VL3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	137,14	-44,01	7,64	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,9	0,0	OK	0,03	OK	

Fuente: Autor

**Tabla B-16: Revisión de combinación carga axial y flexión para las secciones del invernadero (4)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	P	M2	M3	Sección	Ae (cm2)	Pno (kgf)	Pn (kgf)	Pex = Pey(kgf)	Mnx = Mny (kgf-m)	Cm	αx = αy	Revisión Eq. 6,61	Estatus	Revisión Eq. 6,62	Estatus	
			Kgf	Kgf-m	Kgf-m													
Viga de puerta	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	52,87	1,05	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	0,97	1,09	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,00	OK	
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	-36,08	0,42	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(1)	45,19	-58,28	-0,95	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK	
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	49,72	6,28	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	30,04	3,21	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	-4,37	-0,6	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,00	OK	
	VP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	-35,6	-53,52	-5,15	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	26,44	-69,58	18,84	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,04	OK	
	VP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	44,7	53,11	0,59	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,02	OK	
	VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	26,15	52,05	-1,6	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,03	OK	
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	26,44	-69,58	18,84	50x50x1,8	3,3	7559,1	5693,1	11219,8	1593,4	0,9	1,0	0,0	OK	0,04	OK	
	Viga de techo	VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-5,62	-1,11	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,06	OK
		VT1-1	0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-3,80	0,44	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,05	OK
VT1-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-1,97	1,31	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,05	OK	
VT1-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	-0,15	1,52	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,05	OK	
VT1-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	1,68	1,06	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,05	OK	
VT1-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	3,50	-0,08	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,05	OK	
VT1-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-723,67	5,33	-1,88	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	1,5	0,2	OK	0,06	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	4,26	-8,29	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,10	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	3,01	-3,01	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,09	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	1,75	1,43	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,09	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	0,49	5,02	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,09	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-0,77	7,77	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,09	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-2,03	9,67	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,10	OK	
VT3-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1233,07	-3,29	10,72	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,2	0,3	OK	0,10	OK	
VT2-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	8,02	-9,87	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,05	OK	
VT2-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	-8,82	14,62	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,05	OK	
VT2-4		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	529,71	8,02	-9,87	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,05	OK	
VT2-4		0.95*CP+1.6*CV(2)	421,11	-8,79	15,52	50x50x1,8	3,3	7559,1	2446,8	2804,9	1593,4	0,9	0,7	0,1	OK	0,04	OK	

Fuente: Autor

**Tabla B-17: Revisión de la combinación carga axial y cortante para las secciones del invernadero (1)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	M2	M3	Sección	w/t	kv	Vn	Sex (cm3)	Mnx (kgf-m)	Revisión eq	Revisión eq
			Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m							2,9-38	2,9-38
													V2-M2	V3-M3
Arriostres de puerta	AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	9,11	18,98	-10,33	-3,6	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,02
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	-20,49	-6,72	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	29,74	6,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	6,17	31,75	6,6	2,18	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,04
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	7,17	31,75	-16,55	-2,68	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,02078	-17,31	-9,1	1,1	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,02
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,98	-17,31	3,52	0,75	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,02
	AP7	0.95*CP+1.6*CV(2)	1,99	-17,31	16,13	-0,33	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,02
	AP5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-6,16	-15,26	-20,89	-5,5	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(2)	5,16	31,75	29,74	6,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,04
	AP5	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	6,57	18,98	17,34	7,83	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,03
	AP5	0.95*CP+1.6*CV(1)	-7,17	-14,98	-20,49	-6,72	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
Arriostres de techo	ATE14	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	11,09	-2,3	2,23	-8,94	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-12,08	1,02	2,17	-10,87	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-7,78	9,16	4,9	1,06	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-6,36	9,16	1,06	4,03	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,94	9,16	-2,78	6,4	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3,52	9,16	-6,62	8,17	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE16	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2,1	9,16	-10,45	9,35	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	-0,4	-9,13	-4,22	4,12	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	0,72	-9,13	-0,39	4,05	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	1,84	-9,13	3,44	3,51	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	2,97	-9,13	7,27	2,5	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	4,09	-9,13	11,1	1,03	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-8,22	-8,93	-10,51	-6,78	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE20	0.95*CP+1.6*CV(2)	4,09	-9,13	11,1	1,03	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	ATE19	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-12,08	1,02	2,17	-10,87	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
Arriostres entre marcos	AM17	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-4,55	-1,47	-3,95	-4,86	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	AM30	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	6,04	-1,37	-1,63	-2,99	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,31	-4,62	-9,12	1,14	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,23	-4,62	-3,35	1,19	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,77	-4,62	2,42	-1,93	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,52	4,97	9,55	0,63	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,02	4,97	3,33	0,94	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AM13	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,55	4,97	-2,89	-1,92	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AM2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,31	-4,62	-9,12	1,14	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AM6	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	1,84	-4,13	9,69	-0,04185	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	AM17	0.95*CP+1.6*CV(1)	-4,26	-1,62	-4,01	-5,06	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
Arriostres frontales	AF3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-11,56	18,47	-13,2	-5,42	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
	AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	25,7	33,34	8,2	-6,74	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,04
	AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	4,71	-77,47	-39,43	4,88	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,09
	AF19	0.95*CP+1.6*CV(1)	-1,74	72,55	18,07	-0,6	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,08
	AF15	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	4,71	-77,47	-39,43	4,88	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,09
	AF51-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	23,99	-65,24	26,71	-10,97	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,08
	AF3	0.95*CP+1.6*CV(2)	23,69	-16,02	14,7	11,79	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	AF30	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	13,6	0,31	-0,32	-14,02	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,01

Fuente: Autor

**Tabla B-18: Revisión de la combinación carga axial y cortante para las secciones del invernadero (2)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	M2	M3	Sección	w/t	kv	Vn	Sex (cm <sup>3</sup> )	Mnx (kgf-m)	Revisión eq	Revisión eq
			Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m							2,9-38	2,9-38
													V2-M2	V3-M3
Arriostres triangulo de marco	AT3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	55,01	1,07	0,3	-16,18	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,06	0,01
	AT25	0.95*CP+1.6*CV(2)	-116,93	0,64	-0,19	49,98	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,14	0,02
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03382	10,34	2,43	-0,003241	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03382	10,34	-1,44	0,009443	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AT15	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-0,03382	10,34	-5,32	0,02213	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-0,16	-12,03	2,66	-0,19	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,37	-12,03	15,42	-1,37	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-2,7	-12,03	-10,1	-1,71	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AT22	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,37	-12,03	15,42	-1,37	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	AT21	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-114,47	4,01	-1,51	50,79	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,13	0,03
AT25	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-67,45	0,91	0,35	-19,27	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,08	0,01	
Columna de puerta	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,08	18,44	-23,79	-66,9	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,14	0,05
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-119,05	-0,19	0,24	74,1	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,14	0,03
	CP3	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-46,94	-42,74	18,44	20,92	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,06	0,06
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	44,11	58,52	-38,76	-20,03	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,08
	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-55,44	18,44	22,32	0,15	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,02
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(2)	-55,57	18,44	22,32	-0,09769	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,02
	CP3	0.95*CP+1.6*CV(2)	44,11	58,52	-38,76	-20,03	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,08
	CP2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	109,08	18,44	-23,79	-66,9	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,14	0,05
	CP2	0.95*CP+1.6*CV(1)	-119,05	-0,19	0,24	74,1	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,14	0,03
	Columnas	COL1-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-244,83	-78,74	-24,83	-61,23	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,25
COL12-5		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	273,72	-67,72	-20,05	70,29	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,26	0,24
COL7-1		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	77,75	-390,94	-157,49	29,88	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,48	0,37
COL11-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-26,11	443,33	-204,16	11,16	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,56	0,36
COL7-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-5,03	442,25	203,81	-2,9	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,55	0,34
COL9-1		0.95*CP+1.6*CV(2)	-9,4	438,65	-206,59	3,83	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,56	0,34
COL14-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	85,15	5,94	-0,53	-93,2	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,06	0,25
COL15-1		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-196,89	6,17	-9,76	143,96	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,17	0,39
CI3-3		1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	12,02	0,006951	-0,04349	-6,08	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
Cuerda inferior		CI4-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-11,72	2,13	1,6	-8,68	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01
	CI1-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	-5,73	62,25	16,74	-2,05	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,07
	CI5-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,4	-63,52	18,64	-0,81	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,07
	CI1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	7,85	59,76	-20,55	-4,54	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,07
	CI2-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-11,08	-0,63	-0,4	-9,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	CI3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	6,94	0,006951	-0,03307	8,14	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	CI3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-10,7	0,6	0,4	-9,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	CS6-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	-139,3	0,48	0,41	-29,07	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,10	0,08
	CS6-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(6)	144,49	-0,07526	0,02245	-37,17	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,10
	Cuerda superior	CS1-2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	39,16	29,32	23,4	9,75	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09
CS1-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-33,62	29,32	-25,78	5,11	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,04
CS9-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,33	-28,52	2,06	-7,59	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,01	0,04
CS9-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-34,06	-28,52	25,98	5,71	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,04
CS1-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-33,62	29,32	-25,78	5,11	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,04
CS9-2		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-34,06	-28,52	25,98	5,71	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,04
CS6-1		1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-113,2	1,82	1,64	-46,8	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,13
CS8-1		0.95*CP+1.6*CV(1)	138,89	0,93	1,34	50,57	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,14

Fuente: Autor

**Tabla B-19: Revisión de la combinación carga axial y cortante para las secciones del invernadero (3)**

Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	M2	M3	Sección	w/t	kv	Vn	Sex (cm3)	Mnx (kgf-m)	Revisión eq 2,9-38	Revisión eq 2,9-38
			Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m							V2 -M2	V3-M3
Elementos de cercha	EC1	0.95*CP+1.6*CV(6)	7,32	-8,87	6,4	-4,7	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-22,89	10,32	5,87	-12,69	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	2,24	-8,88	-8,48	3,46	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	4,77	-8,88	-1,04	0,53	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	EC1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	7,31	-8,88	6,4	-4,54	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-22,89	10,32	5,87	-12,69	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-20,35	10,32	-2,78	5,44	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,01
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-17,81	10,32	-11,43	21,44	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	EC8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-17,81	10,32	-11,43	21,44	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	EC24	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-12,18	-7,97	7,75	15,56	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,02
Largueros de techo	EC8	0.95*CP+1.6*CV(2)	-22,7	10,29	5,86	-12,74	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,02
	EC16	0.95*CP+1.6*CV(2)	-14,9	4,01	-6,22	23,96	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,01
	LT3-1	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	98,78	-7,47	5,31	-24,39	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,09	0,07
	LT3-3	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-96,57	-24,16	-12,87	-25,57	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,09
	LT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	-53,19	57,81	-27,04	16,83	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,09
	LT2-5	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(6)	53,09	-58,1	-27,42	16,71	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,09
	LT3-8	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	70,39	51,63	-39,83	-19,91	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,16	0,09
	LT5-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(1)	-44,62	-53,5	29,53	28,38	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,11	0,12
	LT1-2	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-79,72	-22,46	-8,87	-43,89	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,08	0,13
	LT1-4	0.95*CP+1.6*CV(6)	63,93	-31,37	-13,37	36,65	72x72x1,8	34,00	5,4	1500,38	11,02	250,1	0,08	0,12
Ventana cenital	VC4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-152,63	2,71	-0,79	-47,1	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,18	0,02
	VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	171,81	1,78	-0,98	-1,38	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,20	0,00
	VC8	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	-152,63	-3,27	0,92	-47,09	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,18	0,02
	VC11	0.95*CP+1.6*CV(6)	-79,41	41,69	-20,83	41,81	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,10	0,07
	VC14	0.95*CP+1.6*CV(6)	79,42	-41,58	-20,67	41,82	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,10	0,07
	VC2	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-50,14	30,49	-24,63	-1,75	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,04
	VC10	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-50,18	-29,49	24,84	-1,76	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,07	0,03
	VC4	0.95*CP+1.6*CV(6)	171,03	1,78	-0,41	53,82	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,20	0,02
	VC11	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	94,39	14,86	-5,94	-47,52	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,11	0,04

Fuente: Autor

**Tabla B-20: Revisión de la combinación carga axial y cortante para las secciones del invernadero (4)**

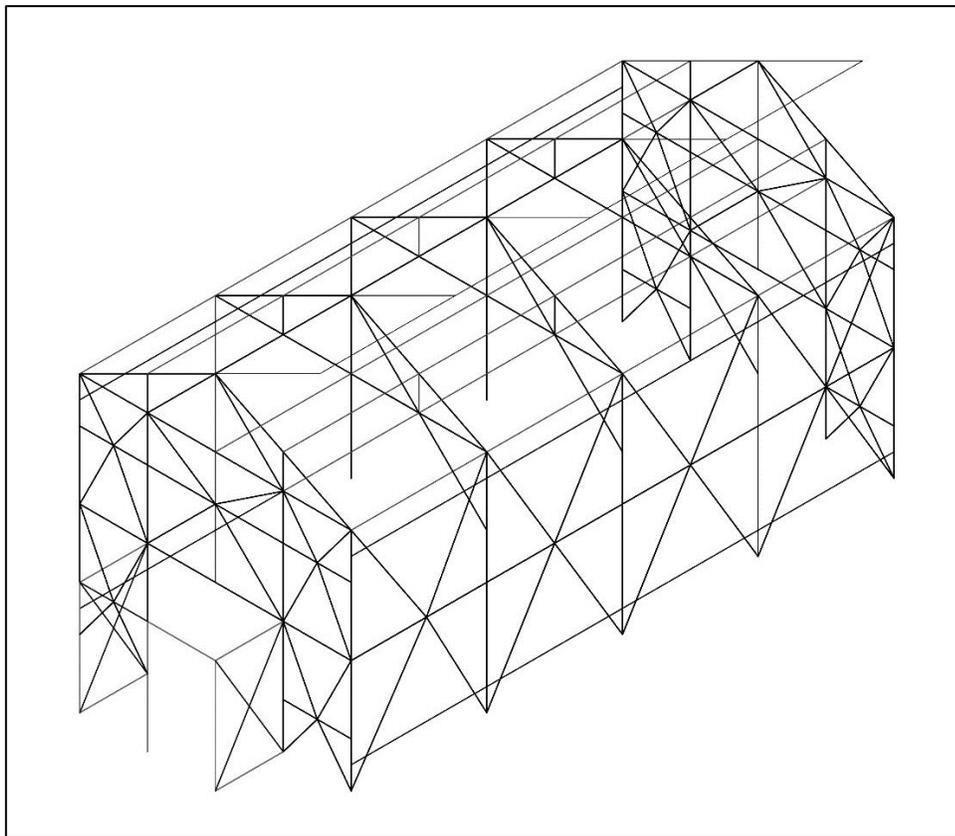
Sección	Etiqueta	Combinación de carga	V2	V3	M2	M3	Sección	w/t	kv	Vn	Sex (cm3)	Mnx (kgf-m)	Revisión eq 2,9-38	Revisión eq 2,9-38
			Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m							V2 -M2	V3-M3
Ventana lateral	VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	9,28	130	-65,68	-7,85	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,15
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	-66,8	-9,59	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,16
	VL3-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	9,28	130	-65,68	-7,85	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,15
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	-66,8	-9,59	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,16
	VL3-1	0.95*CP+1.6*CV(1)	0,56	-123,13	63,83	2,69	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,14
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	-66,8	-9,59	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,16
	VL3-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-10,56	-131,53	-66,8	-9,59	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,04	0,16
	VL3-4	0.95*CP+1.6*CV(2)	-1,62	116,33	-44,01	7,64	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,14
Viga de puerta	VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(1)	-42,26	-12,79	19,83	-11,3	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,06	0,02
	VP4	1.2*CP+1.6*CT+CV(2)	47,22	19	-11,56	-14,42	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,06	0,03
	VP1	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	-6,3	118,73	52,91	0,17	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,14
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	19,88	-122,26	-69,58	18,84	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,05	0,15
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	19,88	-122,26	-69,58	18,84	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,05	0,15
	VP2	1.2*CP+0,5*CT+1,6*CV(1)	5,87	-118,87	53,11	0,59	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,03	0,14
	VP1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	30,92	-39,92	52,05	-16	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,06	0,05
	VP1	0.95*CP+1.6*CV(2)	19,88	-122,26	-69,58	18,84	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,05	0,15
Viga de techo	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(3)	6,49	0,41	-0,61	-3,81	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,00
	VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-13,24	5,61	8,02	-9,87	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-4,75	-4,69	-7,16	-1,70	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-3,06	-4,69	-4,82	0,25	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-1,37	-4,69	-2,47	1,36	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	0,32	-4,69	-0,12	1,63	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	2,01	-4,69	2,22	1,04	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,00	0,01
	VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	3,70	-4,69	4,57	-0,38	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01
VT2-1	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	5,39	-4,69	6,91	-2,66	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,01	0,01	
VT2-4	1.2*CP+0.5*CT+1.6*CV(2)	-13,24	5,61	8,02	-9,87	50x50x1,8	21,78	5,4	961,03	70,19	1593,4	0,02	0,01	

Fuente: Autor

## Anexo C: Configuraciones Propuestas

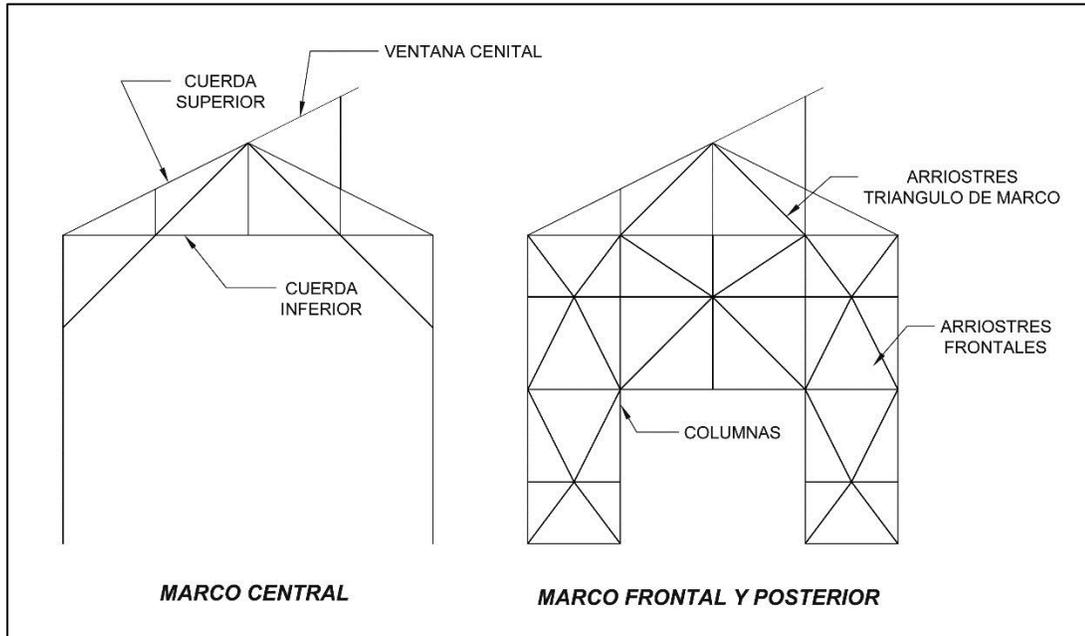
### 1. Invernaderos con techo en dos aguas.

#### 1.1. Prototipo 2



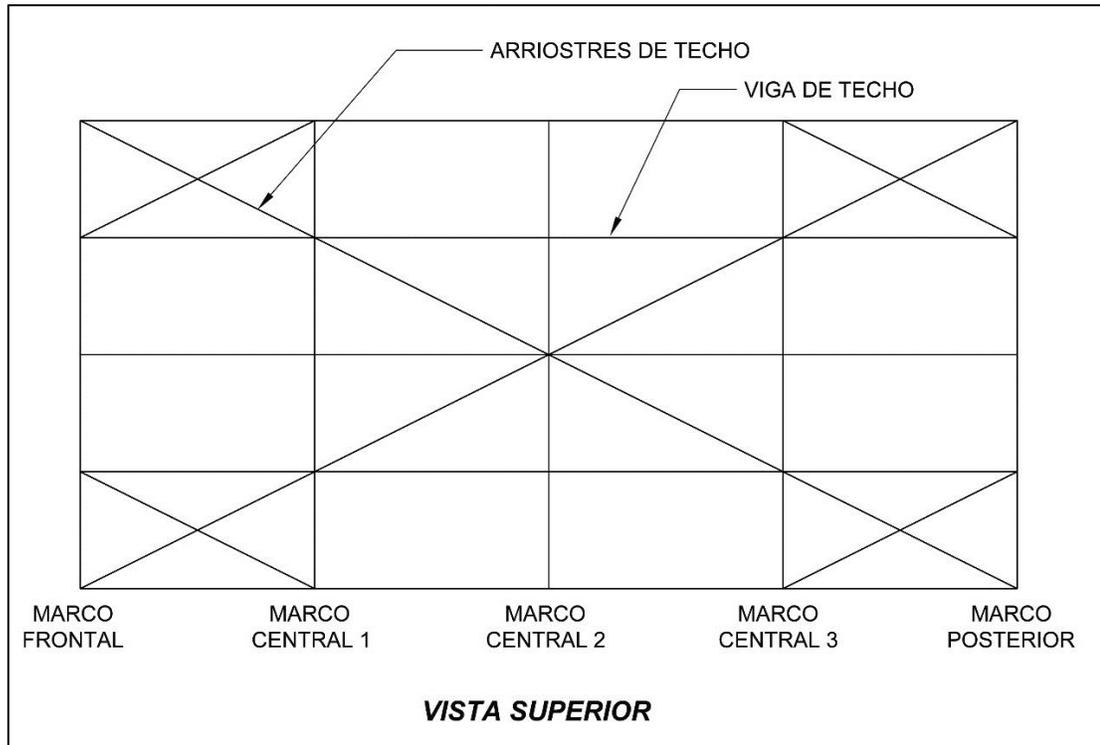
**Figura C-1: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



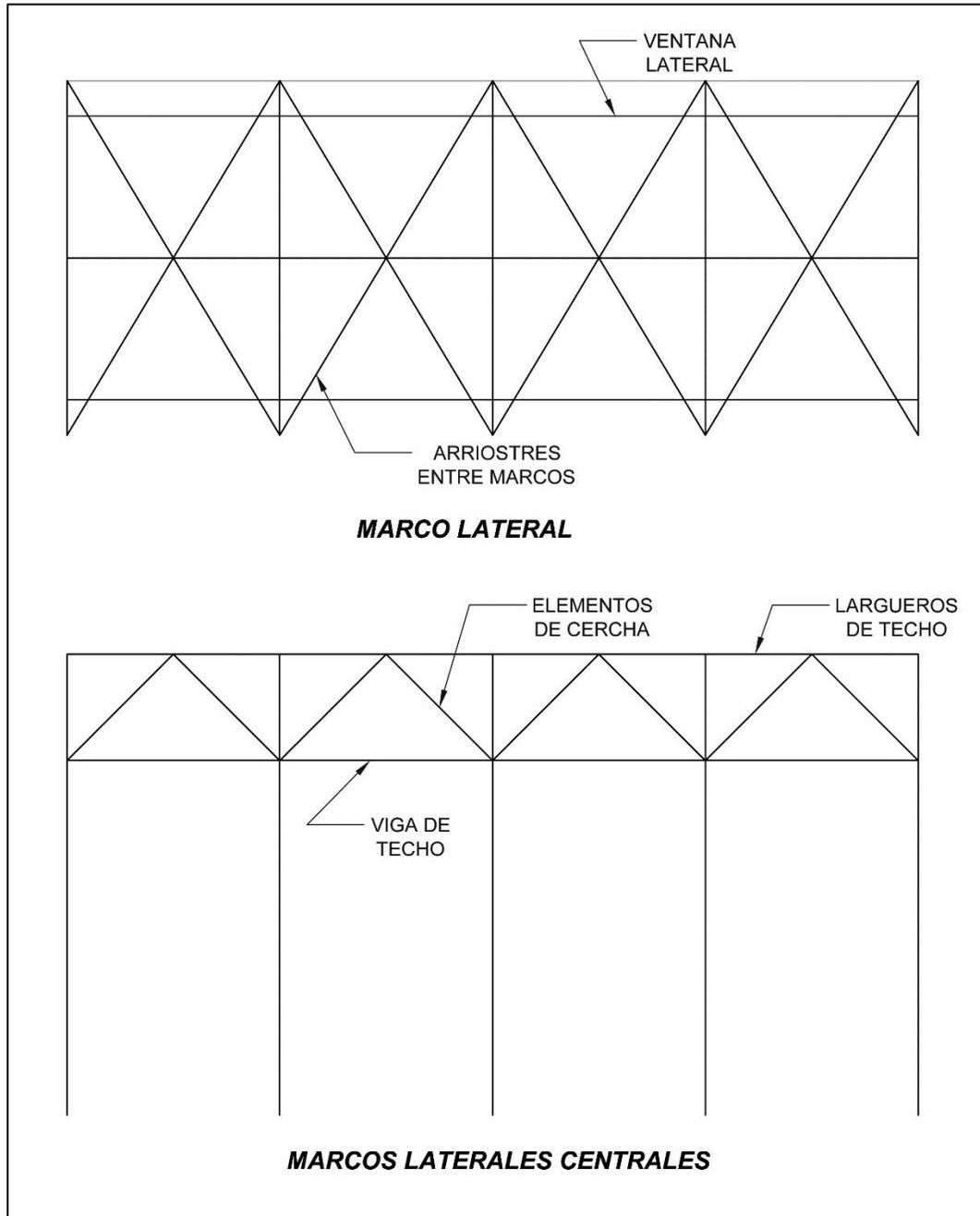
**Figura C-2: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-3: Vista superior del invernadero a la altura de 5m.**

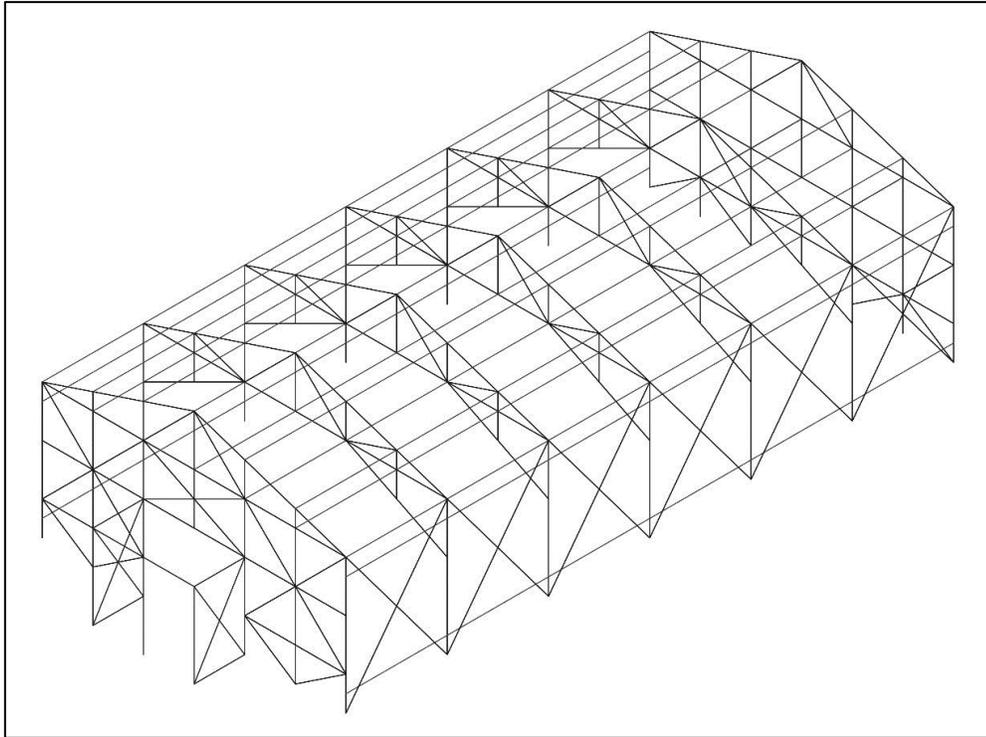
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-4: Distribución de marcos laterales**

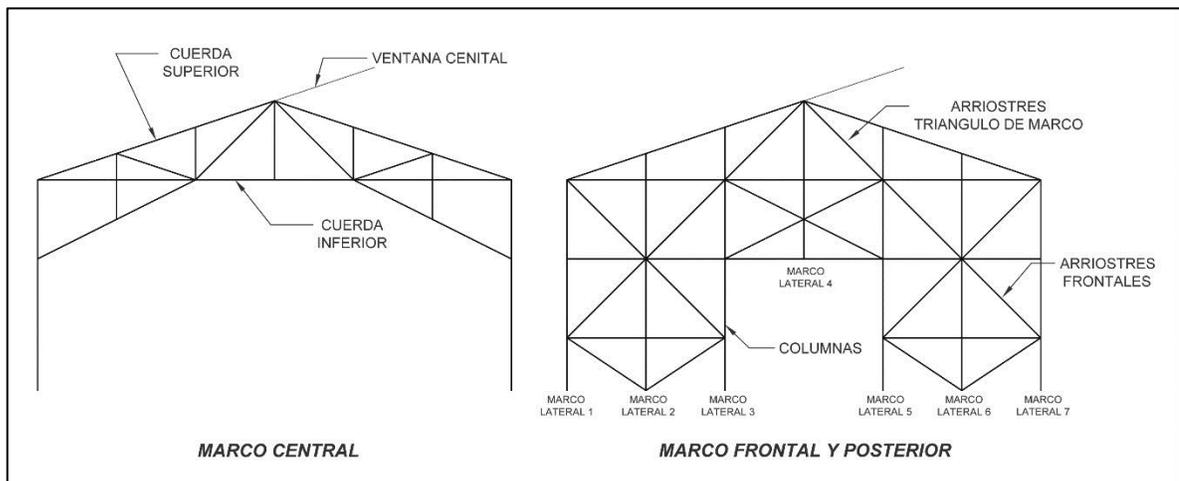
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

## 1.2. Prototipo 3



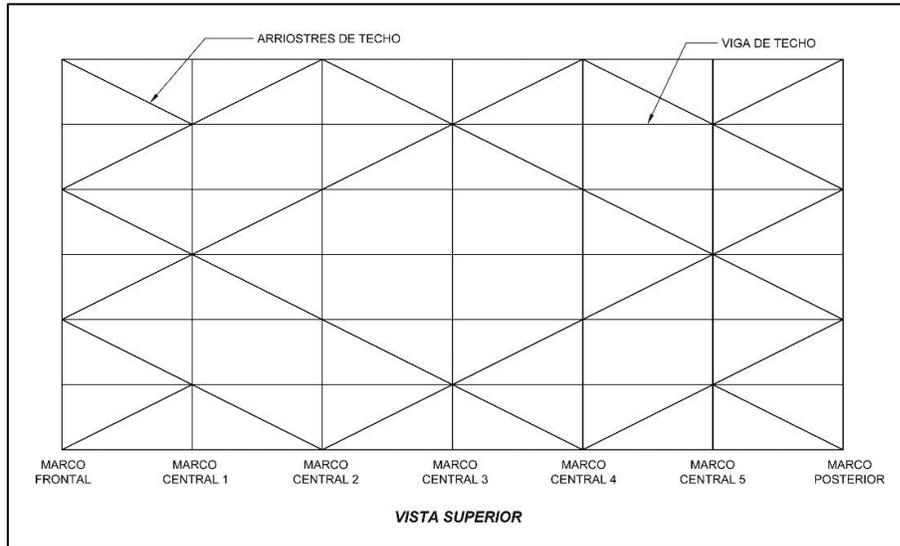
**Figura C-5: Vista isométrica de invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



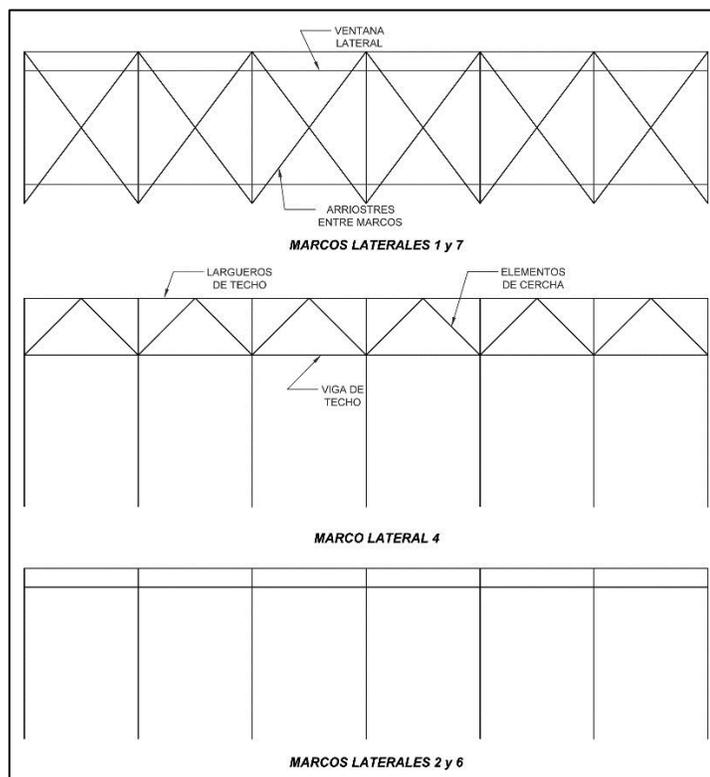
**Figura C-6: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-7: Vista superior del invernadero a la altura de 4m.**

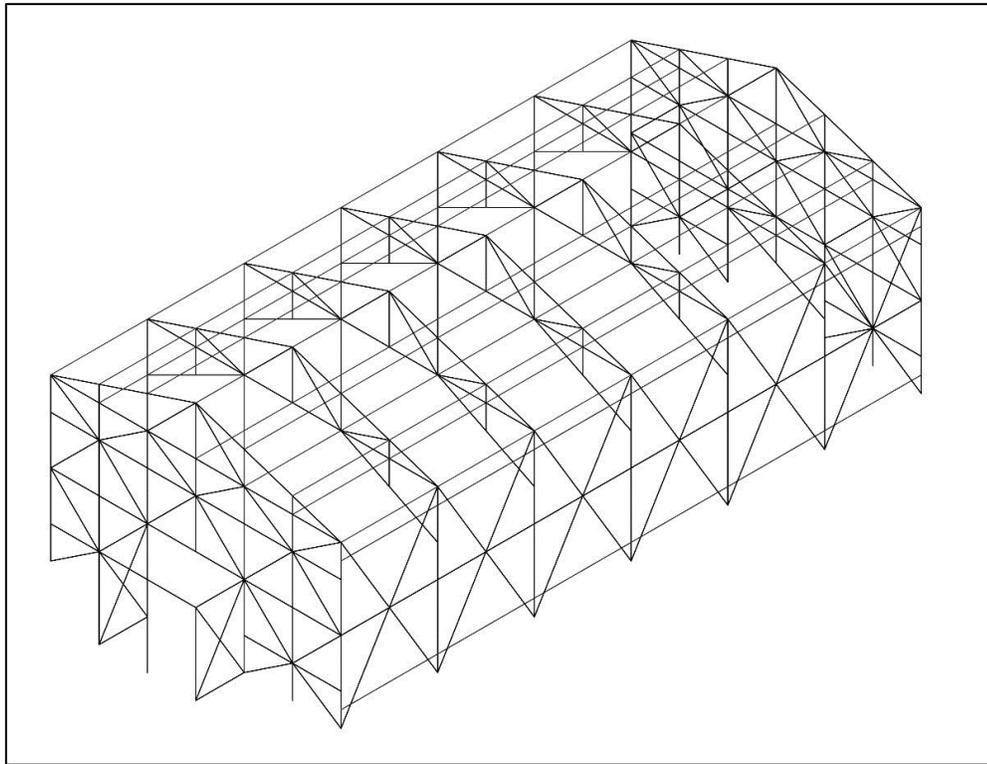
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-8: Distribución de marcos laterales**

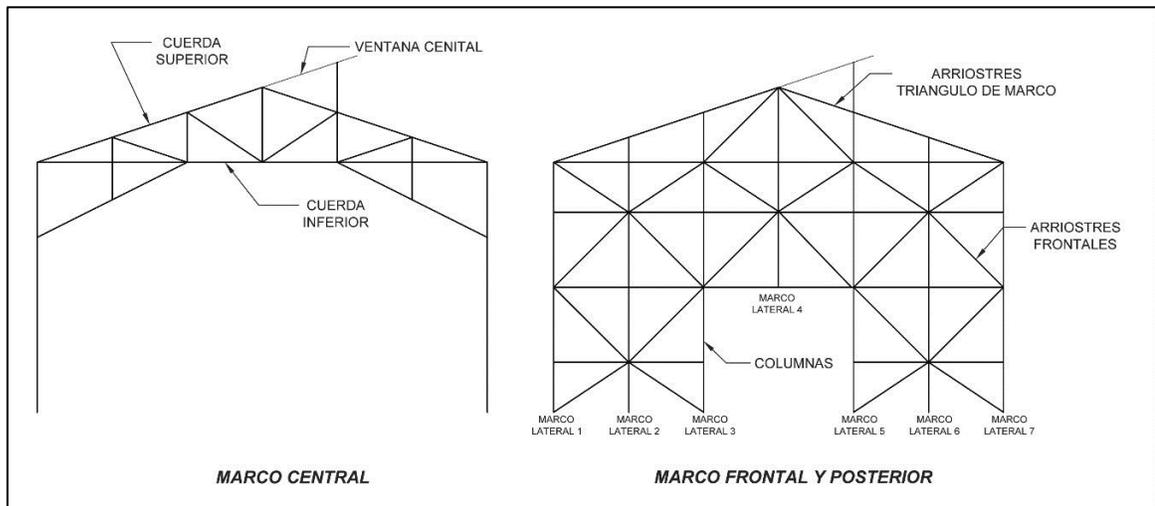
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

### 1.3. Prototipo 4



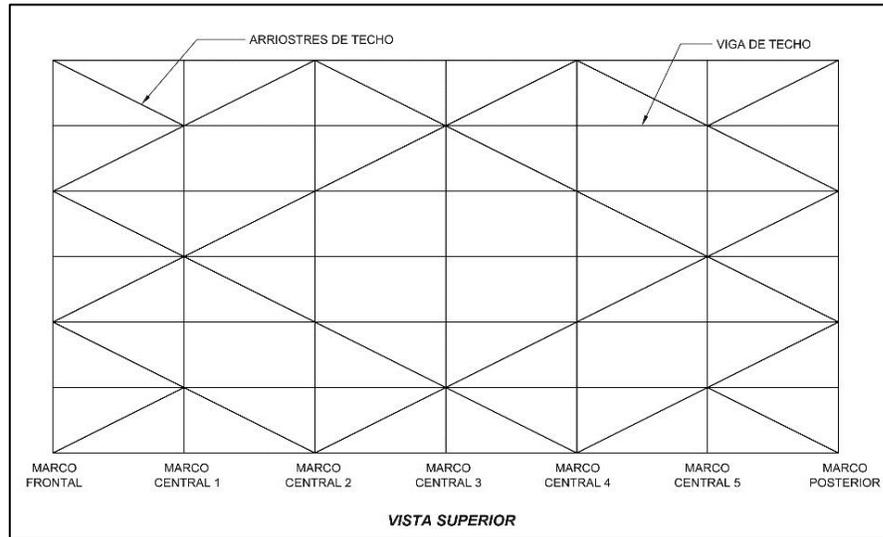
**Figura C-9: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



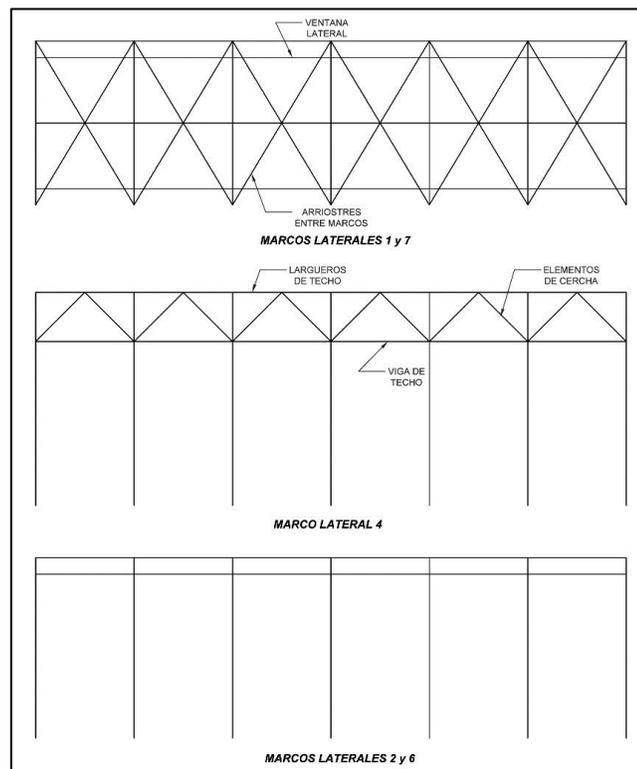
**Figura C-10: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-11: Vista superior del invernadero a la altura de 5m**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

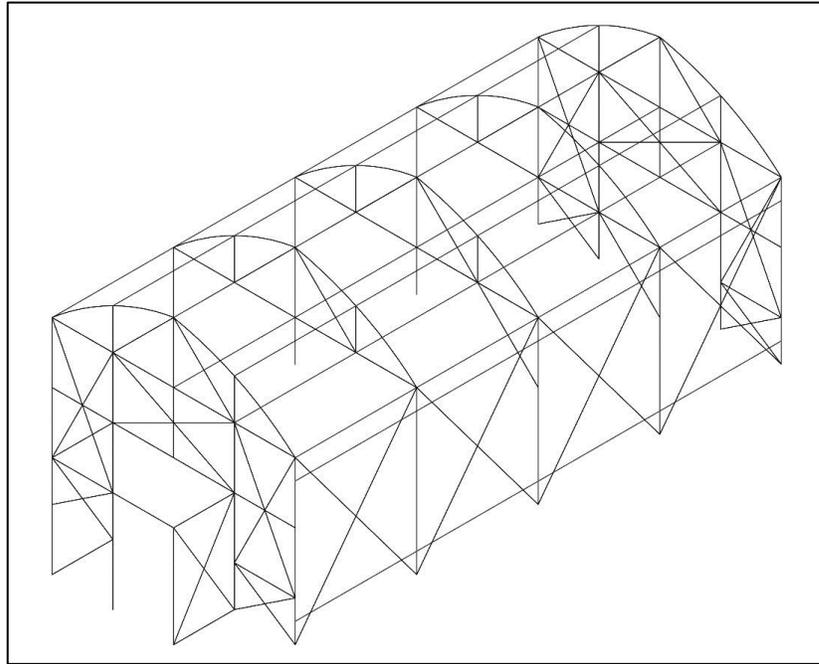


**Figura C-12: Distribución de marcos laterales.**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

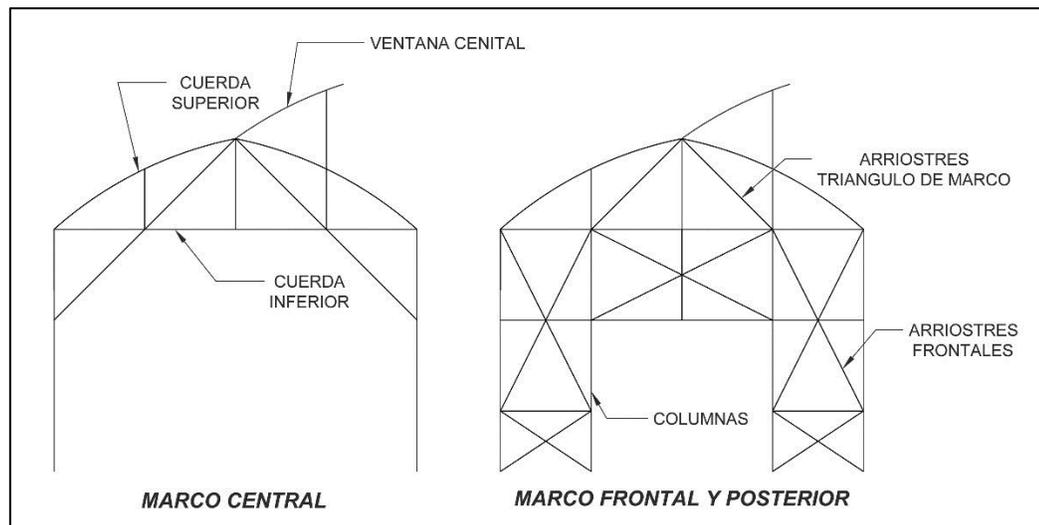
## 2. Invernaderos con techo en arco.

### 2.1. Prototipo 1



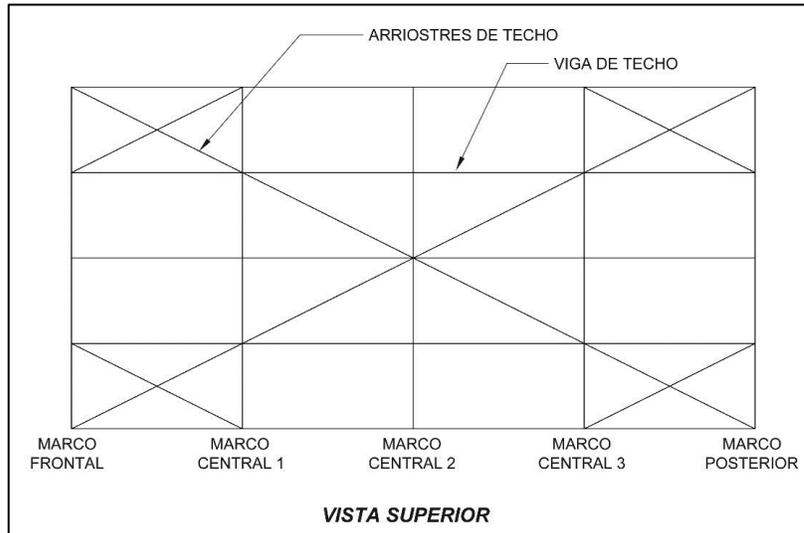
**Figura C-13: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



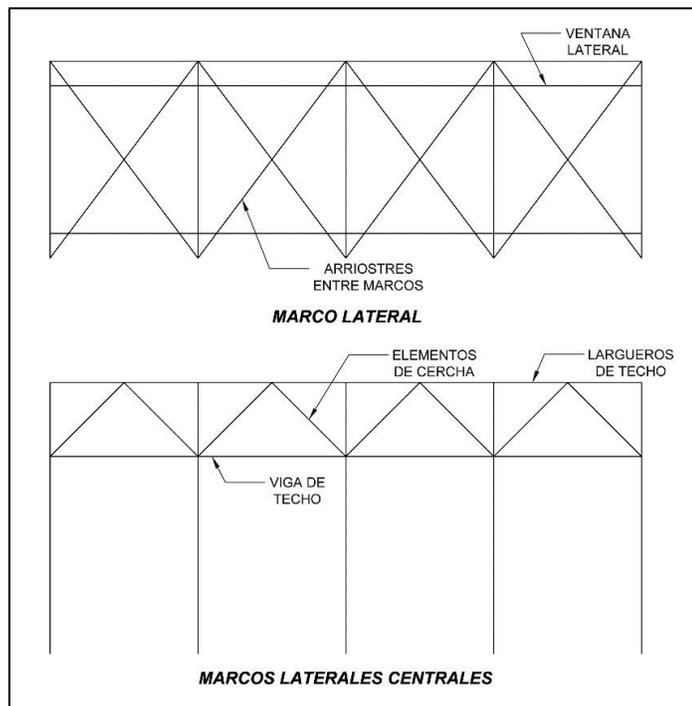
**Figura C-14: Vista frontal del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-15: Vista superior del invernadero a la altura de 4m.**

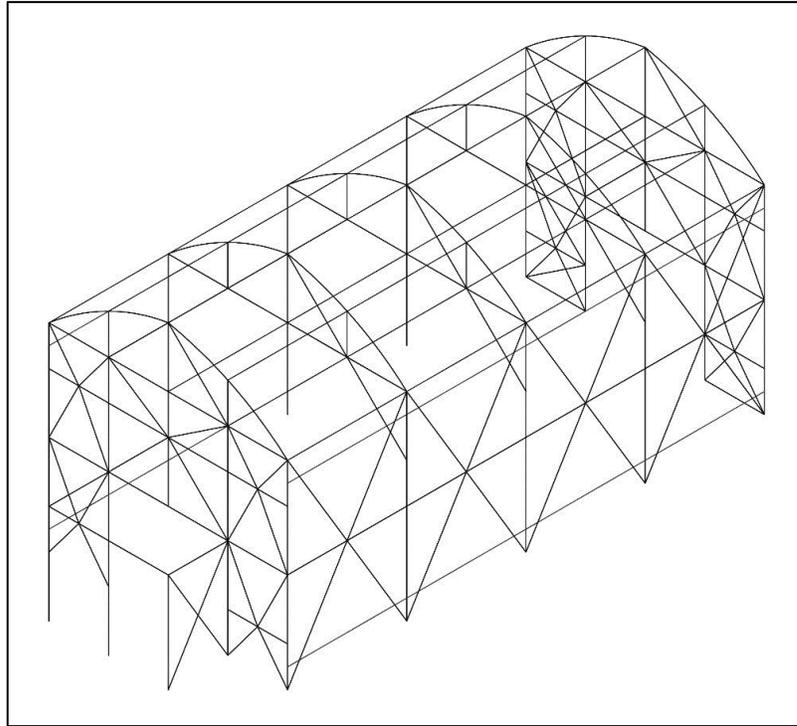
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-16: Distribución de marcos laterales**

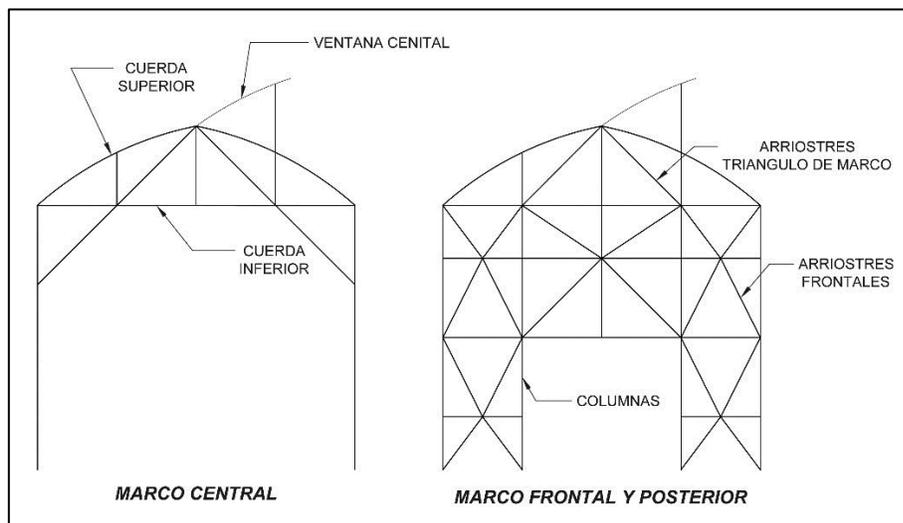
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

## 2.2. Prototipo 2



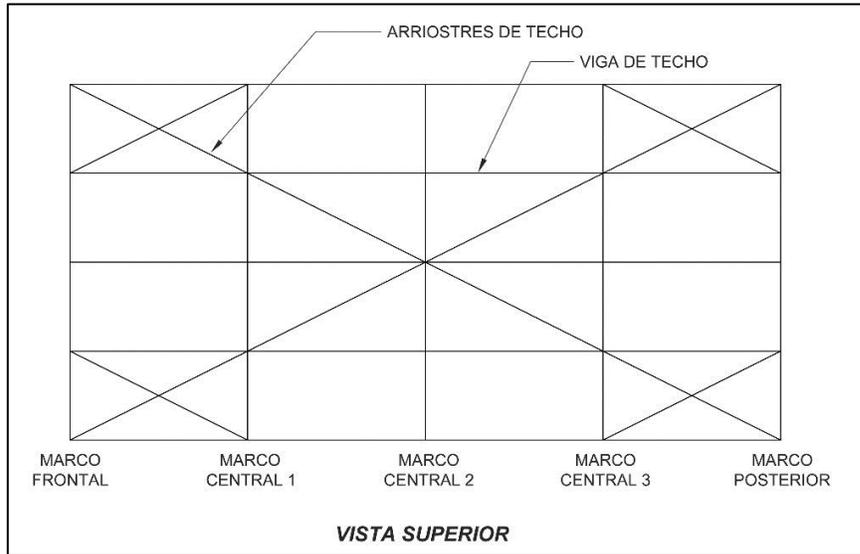
**Figura C-17: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



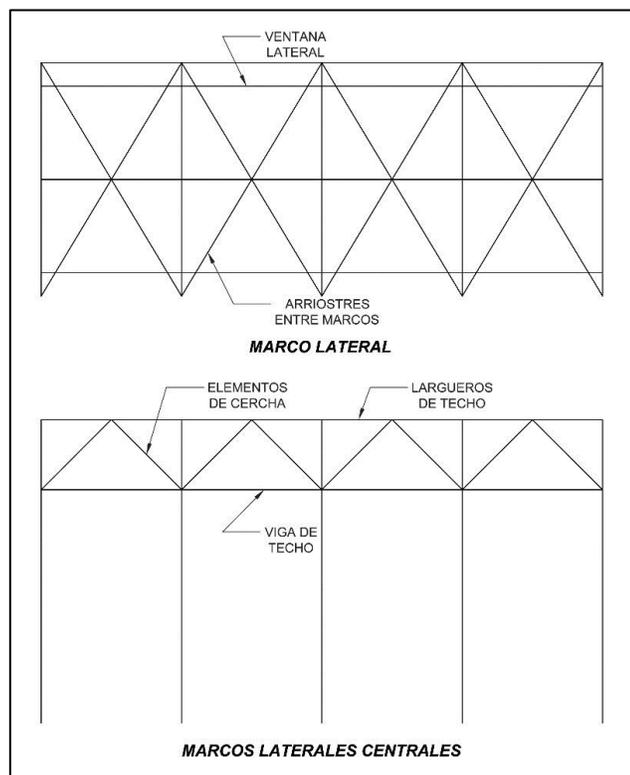
**Figura C-18: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-19: Vista superior del invernadero a la altura de 5m.**

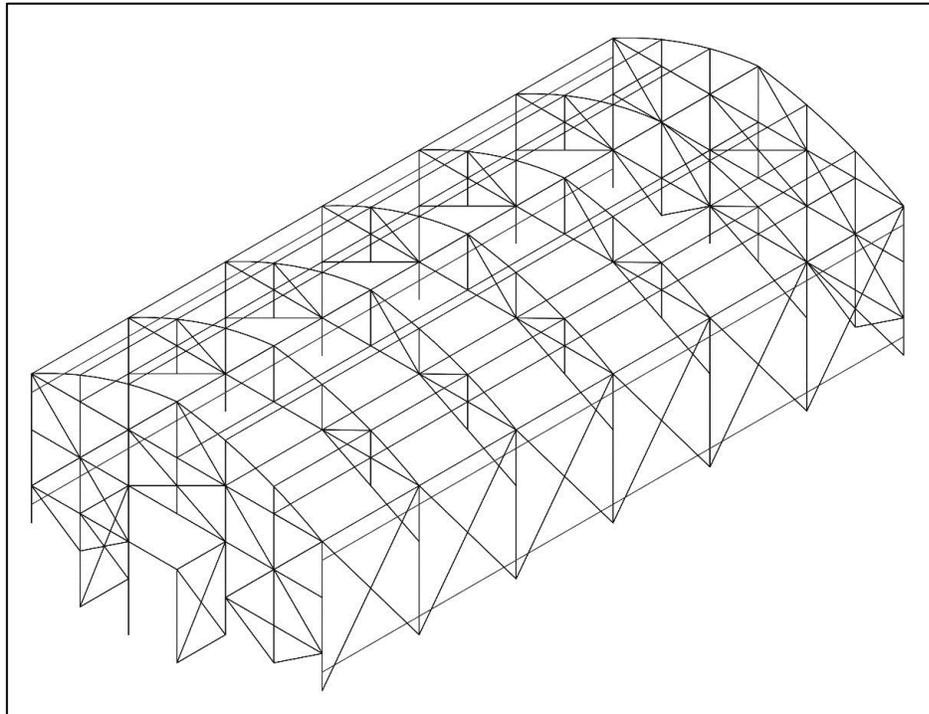
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-20: Distribución de marcos laterales.**

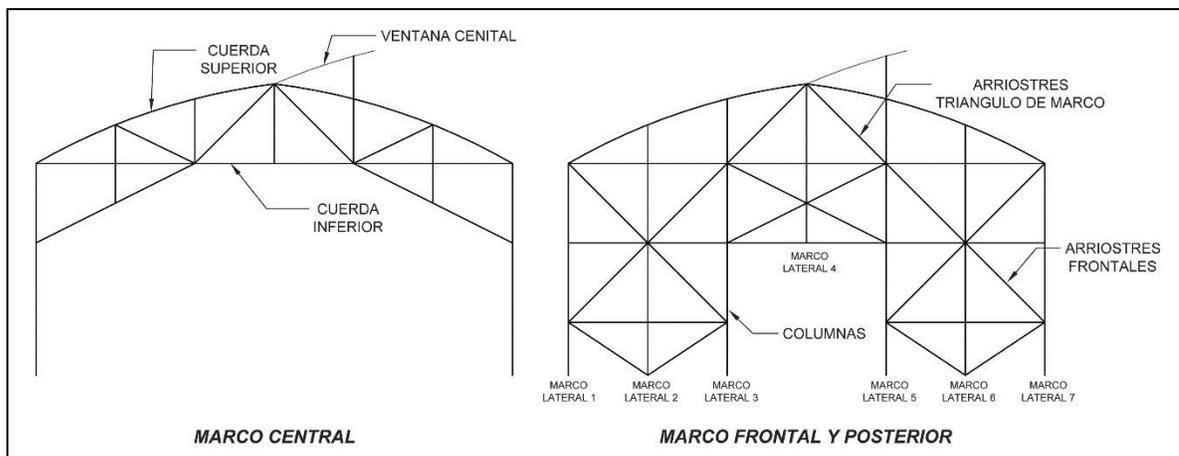
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

### 2.3. Prototipo 3



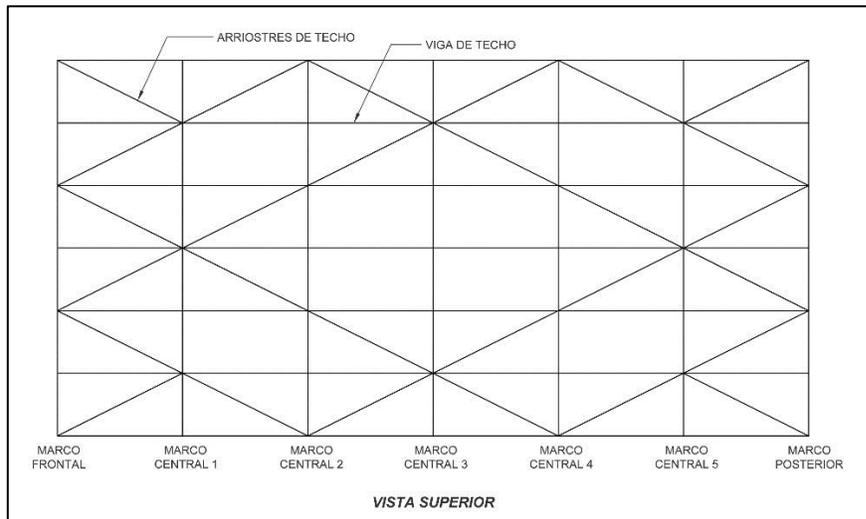
**Figura C-21: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



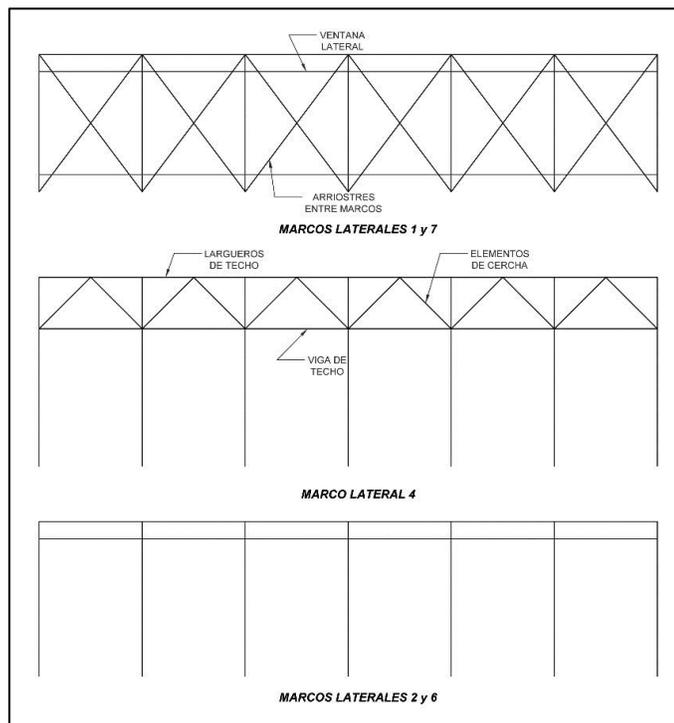
**Figura C-22: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-23: Vista superior del invernadero a la altura de 4m.**

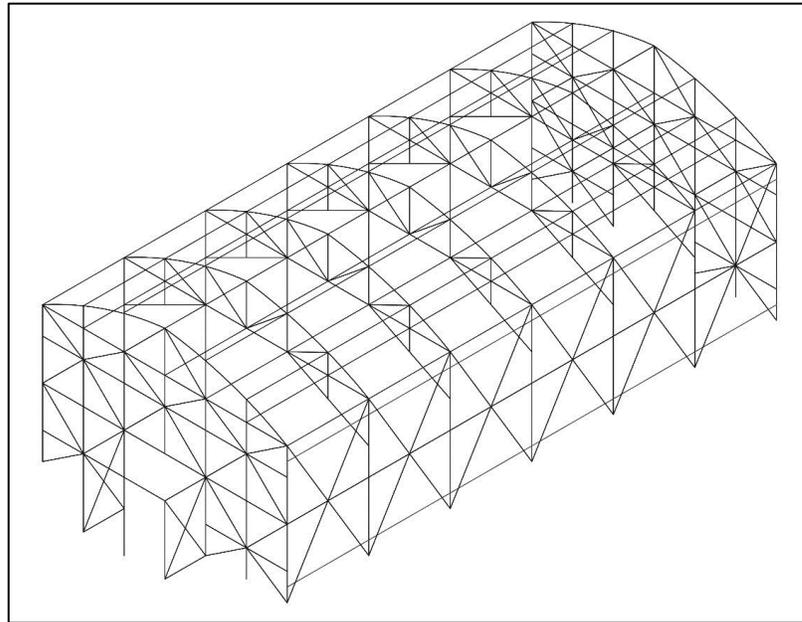
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-24: Distribución de marcos laterales**

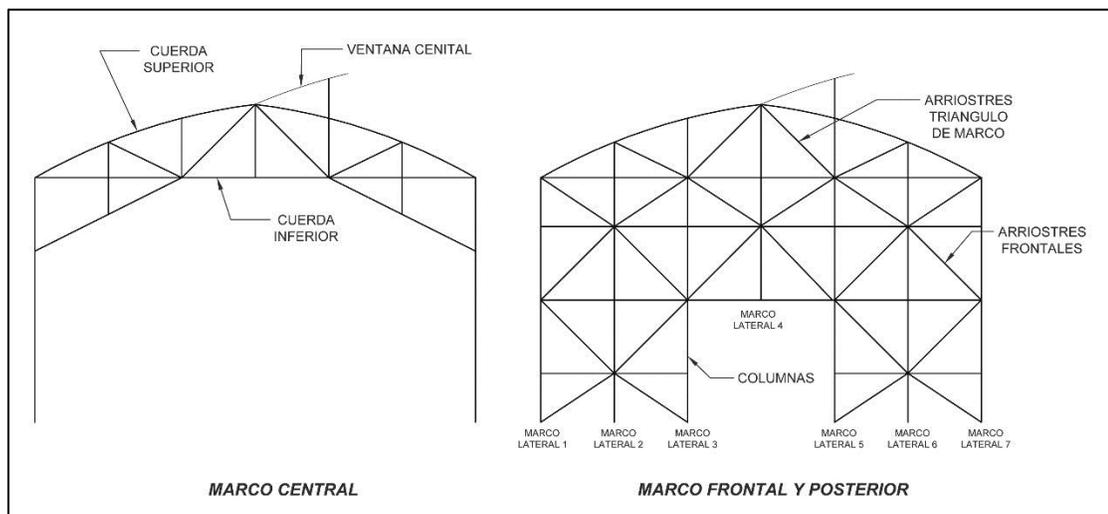
Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

## 2.4. Prototipo 4



**Figura C-25: Vista isométrica del invernadero**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011



**Figura C-26: Vista frontal de los marcos**

Fuente: Autor, hecho con AutoCAD 2011

## Anexo D: Cargas en los Invernaderos

### 1. Carga muerta

#### 1.1. Invernaderos con techo en dos aguas

##### a. Prototipo 2

**Tabla D-1: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	25,000	24,138	4,023	100,575
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,243	16,914	2,819	20,417
Arriostres Frontales	50x50	1,8	46,265	16,914	2,819	130,421
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,708	24,138	4,023	26,988
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,911
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,476	16,914	2,819	15,435
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>515,174</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>528,892</b>
920	0,0002	74,55	13,717			<b>kg</b>

Fuente: Autor

**Tabla D-2: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	25,000	24,138	4,023	100,575
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,243	16,914	2,819	20,417
Arriostres Frontales	50x50	1,8	46,265	16,914	2,819	130,421
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,708	24,138	4,023	26,988
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,911
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,476	16,914	2,819	15,435
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>444,244</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	Peso Total Aportado al Marco		455,753
920	0,0002	62,55	11,509			kg

Fuente: Autor

**Tabla D-3: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 3**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,243	16,914	2,819	20,417
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,960
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,700	24,138	4,023	26,954
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	23,324	16,914	2,819	65,750
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,063	16,914	2,819	28,366
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	10,951	16,914	2,819	30,871
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>399,240</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	Peso Total Aportado al Marco		409,562
920	0,0002	56,1	10,322			kg

Fuente: Autor

**Tabla D-4: Descripción de secciones y pesos para el marco central**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,243	16,914	2,819	20,417
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,960
Cuerda Superior	72x72	1,8	6,700	24,138	4,023	26,954
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	23,324	16,914	2,819	65,750
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,911
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	10,951	16,914	2,819	30,871
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>389,784</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	Peso Total Aportado al Marco		400,106 kg
920	0,0002	56,1	10,322			
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>2147,682</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>2203,875</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
Altura (m)	Frente (m)	Largo (m)	Forma de techo	Área transversal de Techo (m <sup>2</sup> )	Volumen de Techo (m <sup>3</sup> )	Volumen Total de Invernadero (m <sup>3</sup> )
5	6	12	Dos Aguas	4,5	54	414
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>5,188</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>30,609</b>

Fuente: Autor

## b. Prototipo 3

**Tabla D-5: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	28,000	24,138	4,023	112,644
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	8,743	16,914	2,819	24,645
Arriostres Frontales	50x50	1,8	45,890	16,914	2,819	129,364
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,366
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>563,984</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>579,434 kg</b>
920	0,0002	83,97	15,450			

Fuente: Autor

**Tabla D-6: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	28,000	24,138	4,023	112,644
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	8,743	16,914	2,819	24,645
Arriostres Frontales	50x50	1,8	45,890	16,914	2,819	129,364
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,366
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>493,053</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>506,296 kg</b>
920	0,0002	71,97	13,242			

Fuente: Autor

**Tabla D-7: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 5**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	11,905	16,914	2,819	33,560
Arriostres Frontales	50x50	1,8	7,458	16,914	2,819	21,025
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,480	24,138	4,023	38,138
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	16,771	16,914	2,819	47,276
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>460,913</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>471,666 kg</b>
920	0,0002	58,44	10,753			

Fuente: Autor

**Tabla D-8: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 2, 3 y 4**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	11,905	16,914	2,819	33,560
Arriostres Frontales	50x50	1,8	7,458	16,914	2,819	21,025
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,480	24,138	4,023	38,138
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	13,416	16,914	2,819	37,821
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>451,458</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>462,211 kg</b>
920	0,0002	58,44	10,753			
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3333,237</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3415,695</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
<b>Altura (m)</b>	<b>Frente (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Forma de techo</b>	<b>Área transversal de Techo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Techo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total de Invernadero (m<sup>3</sup>)</b>
4	9	18	Dos Aguas	6,75	121,5	769,5
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>4,332</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>21,085</b>

Fuente: Autor

### c. Prototipo 4

**Tabla D-9: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	35,000	24,138	4,023	140,805
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	8,743	16,914	2,819	24,645
Arriostres Frontales	50x50	1,8	63,241	16,914	2,819	178,276
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,366
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>657,811</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>675,470 kg</b>
920	0,0002	95,97	17,658			

Fuente: Autor

**Tabla D-10: Descripción de secciones y pesos para marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	35,000	24,138	4,023	140,805
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	8,743	16,914	2,819	24,645
Arriostres Frontales	50x50	1,8	63,241	16,914	2,819	178,276
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	3,500	16,914	2,819	9,867
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,366
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>586,881</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>602,331 kg</b>
920	0,0002	83,97	15,450			

**Tabla D-11: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 5**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	11,905	16,914	2,819	33,560
Arriostres Frontales	50x50	1,8	8,208	16,914	2,819	23,139
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	16,771	16,914	2,819	47,276
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>471,733</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>483,590</b>
920	0,0002	64,44	11,857			<b>kg</b>

Fuente: Autor

**Tabla D-12: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 2, 3 y 4**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	11,905	16,914	2,819	33,560
Arriostres Frontales	50x50	1,8	8,208	16,914	2,819	23,139
Cuerda Superior	72x72	1,8	9,487	24,138	4,023	38,165
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50x50	1,8	5,000	16,914	2,819	14,095
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	13,416	16,914	2,819	37,821
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>462,278</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>474,135 kg</b>
920	0,0002	64,44	11,857			
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3574,992</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3667,386</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
<b>Altura (m)</b>	<b>Frente (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Forma de techo</b>	<b>Área transversal de Techo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Techo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total de Invernadero (m<sup>3</sup>)</b>
5	9	18	Dos Aguas	6,75	121,5	931,5
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>3,838</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>22,638</b>

Fuente: Autor

## 1.2. Invernaderos con techo en arco.

### a. Prototipo 1

**Tabla D-13: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	20,000	24,138	4,023	80,460
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,826
Arriostres Frontales	50x50	1,8	36,333	16,914	2,819	102,423
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>446,637</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>458,905</b>
920	0,0002	66,678	12,269			<b>kg</b>

Fuente: Autor

**Tabla D-14: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	20,000	24,138	4,023	80,460
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,826
Arriostres Frontales	50x50	1,8	36,333	16,914	2,819	102,423
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>375,706</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>385,767</b>
920	0,0002	54,678	10,061			<b>kg</b>

**Tabla D-15: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 3**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,826
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,961
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,063	16,914	2,819	28,368
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>354,505</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>363,767 kg</b>
920	0,0002	50,34	9,263			

Fuente: Autor

**Tabla D-16: Descripción de secciones y pesos para el marco central**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,826
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,961
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,288
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>345,047</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>354,309</b>
920	0,0002	50,34	9,263			kg
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>1876,399</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>1926,516</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
<b>Altura (m)</b>	<b>Frente (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Forma de techo</b>	<b>Área transversal de Techo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Techo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total de Invernadero (m<sup>3</sup>)</b>
4	6	12	Dos Aguas	5,508	66,096	354,096
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>5,299</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>26,757</b>

Fuente: Autor

## b. Prototipo 2

**Tabla D-17: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	25,000	24,138	4,023	100,575
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,828
Arriostres Frontales	50x50	1,8	46,265	16,914	2,819	130,421
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>511,505</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>525,430 kg</b>
920	0,0002	75,678	13,925			

Fuente: Autor

**Tabla D-18: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	25,000	24,138	4,023	100,575
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,828
Arriostres Frontales	50x50	1,8	46,265	16,914	2,819	130,421
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	7,500	24,138	4,023	30,173
Vigas de Techo	50x50	1,8	4,500	16,914	2,819	12,686
Elementos de Cercha	50x50	1,8	5,727	16,914	2,819	16,144
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>440,575</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>452,292 kg</b>
920	0,0002	63,678	11,717			

**Tabla D-19: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 3**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,828
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,961
Cuerda Superior	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	23,324	16,914	2,819	65,750
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,063	16,914	2,819	28,368
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,289
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>396,061</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>406,427 kg</b>
920	0,0002	56,34	10,367			

Fuente: Autor

**Tabla D-20: Descripción de secciones y pesos para el marco central**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	7,743	16,914	2,819	21,828
Arriostres Frontales	50x50	1,8	4,243	16,914	2,819	11,961
Cuerdas Superiores	63	1,8	6,780	19,290	3,215	21,798
Cuerda Inferior	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	23,324	16,914	2,819	65,750
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	6,708	16,914	2,819	18,910
Largueros de Techo	72x72	1,8	15,000	24,138	4,023	60,345
Vigas de Techo	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Elementos de Cercha	50x50	1,8	11,454	16,914	2,819	32,289
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>386,603</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>396,969 kg</b>
920	0,0002	56,34	10,367			
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>2130,805</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>2187,546</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
<b>Altura (m)</b>	<b>Frente (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Forma de techo</b>	<b>Área transversal de Techo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Techo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total de Invernadero (m<sup>3</sup>)</b>
5	6	12	Dos Aguas	5,508	66,096	<b>426,10</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>5,001</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>30,383</b>

Fuente: Autor

### c. Prototipo 3

**Tabla D-21: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	28,000	24,138	4,023	112,644
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	9,743	16,914	2,819	27,464
Arriostres Frontales	50x50	1,8	45,890	16,914	2,819	129,364
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,365
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	6,027	16,914	2,819	16,989
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>559,620</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>575,369 kg</b>
920	0,0002	85,595	15,749			

Fuente: Autor

**Tabla D-22: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	28,000	24,138	4,023	112,644
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	9,743	16,914	2,819	27,464
Arriostres Frontales	50x50	1,8	45,890	16,914	2,819	129,364
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	10,000	16,914	2,819	28,190
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,365
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	6,027	16,914	2,819	16,989
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>488,689</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>502,231 kg</b>
920	0,0002	73,595	13,541			

Fuente: Autor

**Tabla D-23: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 5**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	13,097	16,914	2,819	36,920
Arriostres Frontales	50x50	1,8	7,458	16,914	2,819	21,024
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	16,771	16,914	2,819	47,277
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	12,053	16,914	2,819	33,977
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>457,707</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>468,504 kg</b>
920	0,0002	58,68	10,797			

Fuente: Autor

**Tabla D-24: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 2, 3 y 4**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	8,000	24,138	4,023	32,184
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	13,097	16,914	2,819	36,920
Arriostres Frontales	50x50	1,8	7,458	16,914	2,819	21,024
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	20,000	16,914	2,819	56,380
Arriostres de Techo	50x50	1,8	13,416	16,914	2,819	37,820
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	12,053	16,914	2,819	33,977
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>448,249</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	Peso Total Aportado al Marco		459,046 kg
920	0,0002	58,68	10,797			
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3308,471</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3391,747</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
Altura (m)	Frente (m)	Largo (m)	Forma de techo	Área transversal de Techo (m <sup>2</sup> )	Volumen de Techo (m <sup>3</sup> )	Volumen Total de Invernadero (m <sup>3</sup> )
4	9	18	Arco	8,255	148,585	796,58
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>4,153</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>20,937</b>

Fuente: Autor

#### d. Prototipo 4

**Tabla D-25: Descripción de secciones y pesos para el marco frontal**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	35,000	24,138	4,023	140,805
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	9,743	16,914	2,819	27,466
Arriostres Frontales	50x50	1,8	63,241	16,914	2,819	178,276
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,365
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	6,027	16,914	2,819	16,990
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,874
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>653,450</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>671,408 kg</b>
920	0,0002	97,595	17,957			

Fuente: Autor

**Tabla D-26: Descripción de secciones y pesos para el marco posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	35,000	24,138	4,023	140,805
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	9,743	16,914	2,819	27,466
Arriostres Frontales	50x50	1,8	63,241	16,914	2,819	178,276
Cuerdas Superiores	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	3,500	15,890	2,648	9,269
Ventana Lateral	50x50	1,8	6,000	16,914	2,819	16,914
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	3,000	24,138	4,023	12,069
Arriostres de Techo	50x50	1,8	10,062	16,914	2,819	28,365
Largueros de Techo	72x72	1,8	10,500	24,138	4,023	42,242
Vigas de Techo	50x50	1,8	7,500	16,914	2,819	21,143
Elementos de Cercha	50x50	1,8	6,027	16,914	2,819	16,990
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>582,520</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>598,269 kg</b>
920	0,0002	85,595	15,749			

**Tabla D-27: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 1 y 5**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	13,097	16,914	2,819	36,920
Arriostres Frontales	50x50	1,8	8,208	16,914	2,819	23,138
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	16,771	16,914	2,819	47,277
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	12,053	16,914	2,819	33,977
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>468,501</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>480,402 kg</b>
920	0,0002	64,68	11,901			

Fuente: Autor

**Tabla D-28: Descripción de secciones y pesos para los marcos internos 2, 3 y 4**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	10,000	24,138	4,023	40,230
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	13,097	16,914	2,819	36,920
Arriostres Frontales	50x50	1,8	8,208	16,914	2,819	23,138
Cuerda Superior	63	1,8	9,560	19,290	3,215	30,735
Cuerda Inferior	50x50	1,8	9,000	16,914	2,819	25,371
Ventana Cenital	50	1,8	5,000	15,890	2,648	13,242
Ventana Lateral	50x50	1,8	12,000	16,914	2,819	33,828
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	11,662	16,914	2,819	32,875
	72x72	1,8	6,000	24,138	4,023	24,138
Arriostres de Techo	50x50	1,8	13,416	16,914	2,819	37,820
Largueros de Techo	72x72	1,8	21,000	24,138	4,023	84,483
Vigas de Techo	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Elementos de Cercha	50x50	1,8	12,053	16,914	2,819	33,977
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>459,043</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>470,944</b>
920	0,0002	64,68	11,901			<b>kg</b>
<b>PESO TOTAL DEL H.G. DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3550,101</b>
<b>PESO TOTAL (H.G. + PLASTICO) DEL INVERNADERO (kg)</b>						<b>3643,313</b>
<b>DIMENSIONES DEL INVERNADERO</b>						
<b>Altura (m)</b>	<b>Frente (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Forma de techo</b>	<b>Área transversal de Techo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de Techo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Total de Invernadero (m<sup>3</sup>)</b>
5	9	18	Arco	8,255	148,585	<b>958,585</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUBICO (kg/m3)</b>						<b>3,703</b>
<b>PESO DEL H.G. POR METRO CUADRADO (kg/m2)</b>						<b>22,490</b>

Fuente: Autor

## 2. Carga viva

Para todos los dimensionamientos esta carga se consideró como la suma de las fuerzas que ejercen el personal de mantenimiento y construcción, la cual se estima en dos trabajadores apoyados sobre el marco con un peso de 90 kg cada uno, la carga colateral que se estima en 10 kg/m<sup>2</sup> y la carga de materia vegetal de 10kg/m<sup>2</sup>.

El total de la carga viva sobre el invernadero es de 20kg/m<sup>2</sup> más el peso de los operarios la cual se trabaja como una carga puntual sobre los marcos.

### 3. Carga de sismo

#### 3.1. Invernaderos con techo en dos aguas

##### 3.1.1. Prototipo 2

##### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-29: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	528,89	71,40	71,40
Posterior	455,75	61,53	61,53
Central 1 y 3	409,56	55,29	55,29
Central 2	400,11	54,01	54,01

Fuente: Autor

##### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-30: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	40,000	24,138	4,023	160,920
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	18,107	16,914	2,819	51,042
Arriostres Frontales	50x50	1,8	52,629	16,914	2,819	148,361
Cuerda Superior	72x72	1,8	16,758	24,138	4,023	67,419
Cuerda Inferior	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Ventana Cenital	50x50	1,8	11,000	16,914	2,819	31,009
Ventana Lateral	50x50	1,8	24,000	16,914	2,819	67,656
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	46,648	16,914	2,819	131,501
	72x72	1,8	12,000	24,138	4,023	48,276
Arriostres de Techo	50x50	1,8	20,125	16,914	2,819	56,733
Largueros de Techo	72x72	1,8	30,000	24,138	4,023	120,690
Vigas de Techo	50x50	1,8	18,000	16,914	2,819	50,742
Elementos de Cercha	50x50	1,8	21,902	16,914	2,819	61,742
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1073,841</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1101,938 kg</b>
920	0,0002	152,7	28,097			

Fuente: Autor

**Tabla D-31: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1101,94	148,76	148,76

Fuente: Autor

### 3.1.2. Prototipo 3

#### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-32: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	579,43	78,22	78,22
Posterior	506,30	68,35	68,35
Central 1 y 5	471,67	63,67	63,67
Central 2 y 4	462,21	62,40	62,40
Central 3	462,21	62,40	62,40

Fuente: Autor

#### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-33: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	48,000	24,138	4,023	193,104
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	38,505	16,914	2,819	108,544
Arriostres Frontales	50x50	1,8	64,536	16,914	2,819	181,927
Cuerdas Superiores	72x72	1,8	33,187	24,138	4,023	133,510
Cuerda Inferior	50x50	1,8	31,500	16,914	2,819	88,799
Ventana Cenital	50x50	1,8	16,000	16,914	2,819	45,104
Ventana Lateral	50x50	1,8	36,000	16,914	2,819	101,484
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	60,000	16,914	2,819	169,140
Arriostres de Techo	50x50	1,8	46,957	16,914	2,819	132,373
Largueros de Techo	72x72	1,8	63,000	24,138	4,023	253,449
Vigas de Techo	50x50	1,8	45,000	16,914	2,819	126,855
Elementos de Cercha	50x50	1,8	34,361	16,914	2,819	96,865
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1666,619</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1707,847 kg</b>
920	0,0002	224,07	41,229			

Fuente: Autor

**Tabla D-34: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1707,85	230,56	230,56

Fuente: Autor

### 3.1.3. Invernadero de frente 9m, altura 5m y largo 18m.

#### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-35: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	675,47	91,19	91,19
Posterior	602,33	81,31	81,31
Central 1 y 5	483,59	65,28	65,28
Central 2 y 4	474,13	64,01	64,01
Central 3	474,13	64,01	64,01

Fuente: Autor

#### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-36: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	60,000	24,138	4,023	241,380
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	38,505	16,914	2,819	108,544
Arriostres Frontales	50x50	1,8	83,762	16,914	2,819	236,125
Cuerda Superior	72x72	1,8	33,203	24,138	4,023	133,576
Cuerda Inferior	50x50	1,8	31,500	16,914	2,819	88,799
Ventana Cenital	50x50	1,8	16,000	16,914	2,819	45,104
Ventana Lateral	50x50	1,8	36,000	16,914	2,819	101,484
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	40,817	16,914	2,819	115,063
	72x72	1,8	18,000	24,138	4,023	72,414
Arriostres de Techo	50x50	1,8	46,957	16,914	2,819	132,373
Largueros de Techo	72x72	1,8	63,000	24,138	4,023	253,449
Vigas de Techo	50x50	1,8	45,000	16,914	2,819	126,855
Elementos de Cercha	50x50	1,8	34,361	16,914	2,819	96,865
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1787,496</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1833,693 kg</b>
920	0,0002	251,07	46,197			

Fuente: Autor

**Tabla D-37: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1833,69	247,55	247,55

Fuente: Autor

### 3.2. Invernaderos con techo en arco.

#### 3.2.1. Prototipo 1

##### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-38: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	458,91	61,95	61,95
Posterior	385,77	52,08	52,08
Central 1 y 3	363,77	49,11	49,11
Central 2	354,31	47,83	47,83

Fuente: Autor

##### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-39: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	32,000	24,138	4,023	128,736
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	19,357	16,914	2,819	54,566
Arriostres Frontales	50x50	1,8	42,698	16,914	2,819	120,364
Cuerda Superior	63	1,8	16,950	19,290	3,215	54,494
Cuerda Inferior	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Ventana Cenital	50	1,8	11,000	15,890	2,648	29,132
Ventana Lateral	50x50	1,8	24,000	16,914	2,819	67,656
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	40,000	16,914	2,819	112,760
Arriostres de Techo	50x50	1,8	20,125	16,914	2,819	56,732
Largueros de Techo	72x72	1,8	30,000	24,138	4,023	120,690
Vigas de Techo	50x50	1,8	18,000	16,914	2,819	50,742
Elementos de Cercha	50x50	1,8	22,908	16,914	2,819	64,577
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>938,199</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Peso del plástico (kg)	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>963,258 kg</b>
920	0,0002	136,188	25,059			

Fuente: Autor

**Tabla D-40: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	963,26	247,55	247,55

Fuente: Autor

### 3.2.2. Prototipo 2

#### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-41: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	525,43	70,93	70,93
Posterior	452,29	61,06	61,06
Central 1 y 3	406,43	54,87	54,87
Central 2	396,97	53,59	53,59

Fuente: Autor

#### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-42: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	40,000	24,138	4,023	160,920
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	19,358	16,914	2,819	54,569
Arriostres Frontales	50x50	1,8	52,630	16,914	2,819	148,363
Cuerda Superior	63	1,8	16,950	19,290	3,215	54,494
Cuerda Inferior	50x50	1,8	15,000	16,914	2,819	42,285
Ventana Cenital	50	1,8	11,000	15,890	2,648	29,132
Ventana Lateral	50x50	1,8	24,000	16,914	2,819	67,656
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	46,648	16,914	2,819	131,501
	72x72	1,8	12,000	24,138	4,023	48,276
Arriostres de Techo	50x50	1,8	20,125	16,914	2,819	56,732
Largueros de Techo	72x72	1,8	30,000	24,138	4,023	120,690
Vigas de Techo	50x50	1,8	18,000	16,914	2,819	50,742
Elementos de Cercha	50x50	1,8	22,908	16,914	2,819	64,578
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1065,402</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1093,773</b>
920	0,0002	154,188	28,371			kg

Fuente: Autor

**Tabla D-43: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1093,77	147,66	147,66

Fuente: Autor

### 3.2.3. Prototipo 3

#### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-44: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	575,37	77,67	77,67
Posterior	502,23	67,80	67,80
Central 1 y 5	468,50	63,25	63,25
Central 2 y 4	459,05	61,97	61,97
Central 2	459,05	61,97	61,97

Fuente: Autor

#### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-45: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	48,000	24,138	4,023	193,104
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	42,485	16,914	2,819	119,764
Arriostres Frontales	50x50	1,8	64,535	16,914	2,819	181,924
Cuerda Superior	63	1,8	33,460	19,290	3,215	107,574
Cuerda Inferior	50x50	1,8	31,500	16,914	2,819	88,799
Ventana Cenital	50	1,8	16,000	15,890	2,648	42,373
Ventana Lateral	50x50	1,8	36,000	16,914	2,819	101,484
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	60,000	16,914	2,819	169,140
Arriostres de Techo	50x50	1,8	46,957	16,914	2,819	132,372
Largueros de Techo	72x72	1,8	63,000	24,138	4,023	253,449
Vigas de Techo	50x50	1,8	45,000	16,914	2,819	126,855
Elementos de Cercha	50x50	1,8	36,159	16,914	2,819	101,932
<i>Puerta de Acceso</i>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1654,235</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1695,873 kg</b>
920	0,0002	226,2947	41,638			

Fuente: Autor

**Tabla D-46: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1695,87	228,94	228,94

Fuente: Autor

### 3.2.4. Prototipo 4

#### a. Fuerza de sismo en "y"

**Tabla D-47: Fuerza de Sismo en "y"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Frontal	671,41	90,64	90,64
Posterior	598,27	80,77	80,77
Central 1 y 5	480,40	64,85	64,85
Central 2 y 4	470,94	63,58	63,58
Central 2	470,94	63,58	63,58

Fuente: Autor

#### b. Fuerza de sismo en "x"

**Tabla D-48: Descripción de secciones y pesos para la fuerza sísmica en "x"**

Descripción	Sección	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso en 6m (kg)	Peso por metro (m)	Peso Total (kg)
Columnas	72x72	1,8	60,000	24,138	4,023	241,380
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8	42,486	16,914	2,819	119,767
Arriostres Frontales	50x50	1,8	83,761	16,914	2,819	236,122
Cuerdas Superiores	63	1,8	33,460	19,290	3,215	107,574
Cuerda Inferior	50x50	1,8	31,500	16,914	2,819	88,799
Ventana Cenital	50	1,8	16,000	15,890	2,648	42,373
Ventana Lateral	50x50	1,8	36,000	16,914	2,819	101,484
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8	40,817	16,914	2,819	115,063
	72x72	1,8	18,000	24,138	4,023	72,414
Arriostres de Techo	50x50	1,8	46,957	16,914	2,819	132,372
Largueros de Techo	72x72	1,8	63,000	24,138	4,023	253,449
Vigas de Techo	50x50	1,8	45,000	16,914	2,819	126,855
Elementos de Cercha	50x50	1,8	36,160	16,914	2,819	101,934
<b>Puerta de Acceso</b>						
Columnas de Puerta	50x50	1,8	3,750	16,914	2,819	10,571
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8	3,000	16,914	2,819	8,457
Arriostres de Puerta	50x50	1,8	5,831	16,914	2,819	16,437
<b>SUB-TOTAL (kg)</b>						<b>1775,050</b>
<b>PESO DEL PLASTICO</b>						
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso del plástico (kg)</b>	<b>Peso Total Aportado al Marco</b>		<b>1821,657 kg</b>
920	0,0002	253,2947	46,606			

Fuente: Autor

**Tabla D-49: Fuerza de Sismo en "x"**

Tipo de Marco	Masa (kg)	Cortante en la base (V)	Fuerza de Sismo (kg)
Lateral	1821,657	245,92	245,92

Fuente: Autor

#### 4. Carga de viento

Tabla D-50: Presiones de viento para invernaderos con techo a dos aguas

Prototipo	Caso de Viento	Dirección de Viento	Presiones (kg/m <sup>2</sup> )							
			Paredes			Para Techo				
			Barlovento	Sotavento	Lateral	Izquierda	Derecho	Barlovento	Centro	Sotavento
1	Edificios parcialmente cerrados	1	29,71	-19,27	-27,62	-31,79	-16,76	-	-	-
		2	29,48	-23,30	-27,42	-	-	±17,13	-	-25,63
	Edificios cerrados	1	20,96	-10,52	-18,87	-31,79	-16,76	-	-	-
		2	20,73	-14,55	-18,67	-	-	±8,38	-	-16,61
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,26	-12,53	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,72	-	-35,01
2	Edificios parcialmente cerrados	1	30,95	-20,09	-28,78	-33,12	-17,48	-	-	-
		2	30,72	-24,29	-28,58	-	-	±17,86	-	-26,43
	Edificios cerrados	1	21,82	-10,96	-19,65	-33,12	-17,48	-	-	-
		2	21,60	-15,16	-19,45	-	-	±8,73	-	-17,31
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,52	-13,03	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-25,73	-	-36,45
3	Edificios parcialmente cerrados	1	29,59	-19,23	-27,52	-31,66	-16,74	-	-	-
		2	29,30	-23,19	-27,26	-	-	±17,08	-	-25,23
	Edificios cerrados	1	20,84	-10,48	-18,77	-31,66	-16,74	-	-	-
		2	20,55	-14,44	-18,51	-	-	±8,33	-	-16,48
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,22	-12,44	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,44	-	-34,62
4	Edificios parcialmente cerrados	1	30,39	-19,75	-28,26	-32,51	-17,20	-	-	-
		2	30,10	-23,83	-28,01	-	-	±17,56	-	-25,92
	Edificios cerrados	1	20,80	-10,46	-18,73	-31,62	-16,73	-	-	-
		2	20,52	-14,42	-18,49	-	-	±8,32	-	-16,46
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,20	-12,41	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,40	-	-34,57

Fuente: Autor

**Tabla D-51: Presiones de viento para invernaderos con techo en arco**

Prototipo	Caso de Viento	Dirección de Viento	Presiones (kg/m <sup>2</sup> )							
			Paredes			Para Techo				
			Barlovento	Sotavento	Lateral	Izquierda	Derecho	Barlovento	Centro	Sotavento
1	Edificios parcialmente cerrados	1	29,71	-19,27	-27,62	-31,79	-16,76	-	-	-
		2	29,48	-23,30	-27,42	-	-	-14,55	-32,57	-23,30
	Edificios cerrados	1	20,96	-10,52	-18,87	-31,79	-16,76	-	-	-
		2	20,73	-14,55	-18,67	-	-	5,80	-23,82	-14,55
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,26	-12,53	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,72	-	-35,01
2	Edificios parcialmente cerrados	1	30,95	-20,09	-28,78	-33,12	-17,48	-	-	-
		2	30,72	-24,29	-28,58	-	-	-15,18	-33,94	-24,29
	Edificios cerrados	1	21,82	-10,96	-19,65	-33,12	-17,48	-	-	-
		2	21,60	-15,16	-19,45	-	-	6,05	-24,81	-15,16
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,52	-13,03	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-25,73	-	-36,45
3	Edificios parcialmente cerrados	1	29,59	-19,23	-27,52	-31,66	-16,74	-	-	-
		2	29,30	-23,19	-27,26	-	-	-31,34	-30,66	-23,19
	Edificios cerrados	1	20,84	-10,48	-18,77	-31,66	-16,74	-	-	-
		2	20,55	-14,44	-18,51	-	-	-22,59	-21,91	-14,44
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,22	-12,44	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,44	-	-34,62
4	Edificios parcialmente cerrados	1	30,39	-19,75	-28,26	-32,51	-17,20	-	-	-
		2	30,10	-23,83	-28,01	-	-	-32,19	-31,49	-23,83
	Edificios cerrados	1	20,80	-10,46	-18,73	-31,62	-16,73	-	-	-
		2	20,52	-14,42	-18,49	-	-	-22,56	-21,88	-14,42
	Edificios abiertos	1	-	-	-	-6,20	-12,41	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	-24,40	-	-34,57

Fuente: Autor

## Anexo E: Cimientos en los invernaderos

### 1. Invernaderos con techo en dos aguas.

#### 1.1. Prototipo 2

**Tabla E-1: Reacciones en cimientos para el prototipo 2**

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	216,24	-28,46	610,65	63,03	21,41	2,56
C1	-317,45	-96,41	-755,42	12,76	-23,66	-6,45
C2	114,80	0,20	70,77	23,68	70,52	0,03
C2	-123,71	-18,37	20,67	-0,25	-76,45	-0,96
C3	369,58	85,00	805,92	42,64	22,27	6,61
C3	-330,95	-49,32	-762,91	-39,77	-23,72	-6,36
C4	162,04	26,03	3983,41	35,04	2,25	0,05
C4	-203,82	-1323,66	-448,43	-0,74	-13,91	-42,78
C5	196,65	66,71	715,32	16,29	7,28	12,64
C5	-230,05	-730,16	-1884,94	-0,12	-15,04	0,26
C6	5,77	0,69	398,48	14,91	13,97	0,08
C6	-3,30	-10,61	-151,81	-0,97	-11,58	-1,73
C7	189,80	149,39	1003,14	21,60	14,76	17,48
C7	-221,22	-750,48	24,75	-7,37	-14,60	-12,77
C8	132,73	301,85	684,57	49,40	9,91	42,95
C8	-217,77	-1497,36	-4217,36	-28,32	-13,93	-53,30
C9	78,49	0,65	792,07	268,75	2,81	0,16
C9	-310,60	-463,62	-568,85	-0,87	-8,52	-7,69
C10	146,73	464,86	1153,32	369,19	1,82	4,82
C10	-348,83	-555,69	-743,27	-271,60	-8,52	-8,66
C11	36,03	1,11	895,49	280,30	0,23	0,00
C11	-289,47	-469,90	-1119,36	-1,55	-7,63	-0,44
C12	36,03	471,01	1597,23	386,98	0,23	0,41
C12	-289,03	-564,84	-861,66	-282,95	-7,62	-0,01
C13	107,34	0,64	793,49	261,46	0,36	11,85
C13	-283,99	-455,88	-533,46	-0,86	-8,05	-0,16
C14	26,76	457,23	1187,22	378,34	0,36	3,84
C14	-262,14	-565,06	-687,20	-264,42	-8,02	-9,01
C15	-0,60	21,58	4164,70	31,23	1,15	21,81
C15	-202,49	-1333,24	-25,97	-0,72	-6,86	-0,06
C16	1,25	65,76	439,89	13,98	1,80	0,00
C16	-224,30	-698,81	-1389,00	-0,16	-177,65	-7,74
C17	-0,09	0,70	398,24	14,48	-0,07	0,11
C17	-157,11	-10,30	-89,64	-0,99	-153,11	-2,45
C18	-0,08	123,08	1443,06	14,36	-0,18	5,36
C18	-267,12	-743,44	-255,51	-2,60	-218,77	-1,24
C19	75,02	243,79	918,63	52,72	0,98	72,44
C19	-176,51	-1396,79	-3840,71	-23,74	-14,35	-22,14

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

En este caso se dividieron los cimientos en dos tipos, los cuales son:

**a. Zapatas tipo A:**

Estos son los cimientos C04, C08, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15 y C19.

**Tabla E-2: Dimensiones finales para el cimiento tipo A**

Dato	Valor	Unidades
Base		
Ancho (B)	1,50	m
Largo (L)	1,50	m
Espesor (h)	0,35	m
Pedestal		
Ancho (b1)	0,30	m
Largo (b2)	0,30	m
Altura (a)	0,65	m
<i>Fuerza en contra de succión</i>	<b>4347</b>	<i>kg</i>

Fuente: Autor

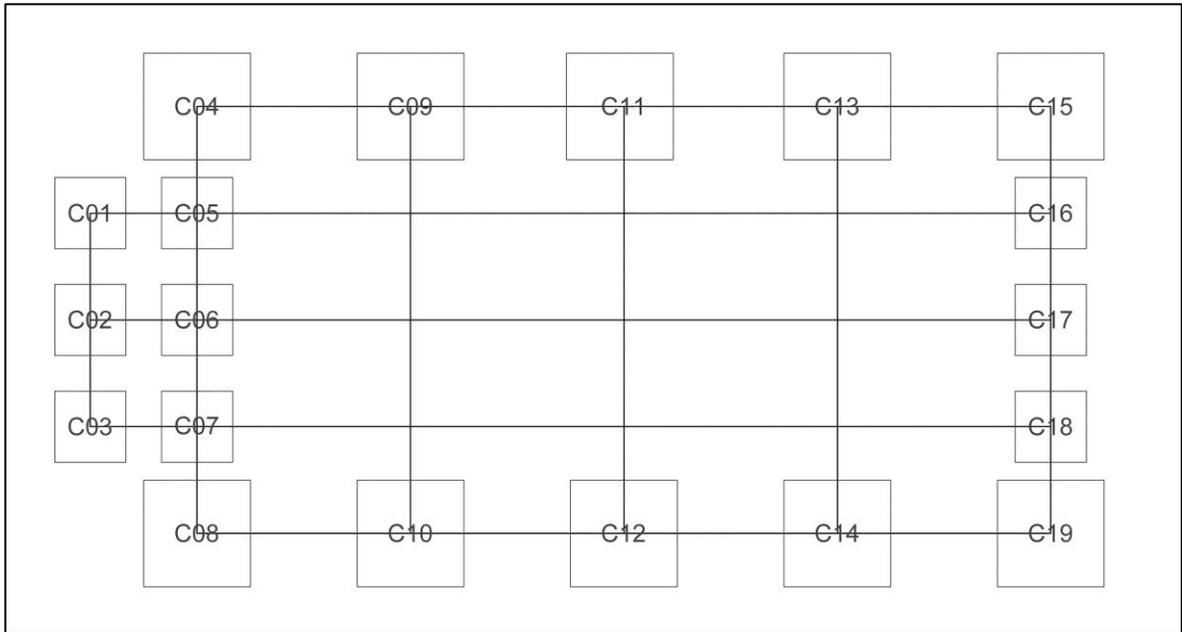
**b. Zapatas tipo B:**

Estos son los cimientos C01, C02, C03, C05, C06, C07, C16, C17 y C18.

**Tabla E-3: Dimensiones finales para el cimiento tipo B**

Dato	Valor	Unidades
Base		
Ancho (B)	1,00	m
Largo (L)	1,00	m
Espesor (h)	0,35	m
Pedestal		
Ancho (b1)	0,30	m
Largo (b2)	0,30	m
Altura (a)	0,65	m
<i>Fuerza en contra de succión</i>	<b>2045,1</b>	<i>kg</i>

Fuente: Autor



**Figura E-1: Planta de cimientos para el prototipo 2**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

## 1.2.Prototipo 3

**Tabla E-4: Reacciones en cimientos para el prototipo 3**

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	237,22	-0,04	701,00	48,01	19,44	2,14
C1	-396,00	-64,47	-909,07	-0,06	-21,54	-6,62
C2	102,03	0,10	57,37	22,92	55,66	0,01
C2	-118,36	-17,74	3,79	-0,13	-73,50	-1,02
C3	367,09	50,30	759,25	53,48	19,79	6,24
C3	-382,95	-75,03	-909,92	-23,47	-21,53	-4,32
C4	200,51	-0,01	3194,88	43,10	1,77	0,22
C4	-161,63	-112,75	-126,26	-0,61	-15,33	-42,81
C5	188,78	114,89	505,90	23,22	126,54	3,94
C5	-243,35	-2891,31	-110,40	-0,84	-163,96	-0,30
C6	339,07	2,56	563,75	21,39	60,17	12,83
C6	-352,07	-18,76	-2613,09	-1,25	-62,47	-4,06
C7	21,45	0,37	713,95	13,59	24,95	0,01
C7	-19,15	-9,74	-255,78	-0,52	-23,15	-1,58
C8	257,50	-0,23	1663,54	24,95	57,03	14,45
C8	-366,86	-24,51	-142,68	-0,58	-62,63	-12,56
C9	228,09	204,57	466,46	23,37	153,24	2,30
C9	-243,35	-2998,29	-350,00	-1,28	-163,90	-2,87
C10	195,78	92,26	625,94	47,46	1,24	42,58
C10	-231,74	-129,80	-3103,87	-20,36	-15,23	-45,86
C11	313,25	4,56	846,96	167,98	16,65	4,10
C11	-448,18	-386,45	-711,96	-5,79	-29,63	-1,46
C12	245,17	377,70	968,94	202,99	13,22	2,89
C12	-498,41	-439,80	-667,78	-140,73	-29,80	-4,42
C13	228,78	7,64	1178,28	187,56	7,96	0,13
C13	-310,97	-378,82	-989,07	-9,59	-24,33	-1,01
C14	110,99	365,73	1555,02	221,20	5,41	0,58
C14	-388,07	-447,29	-780,85	-132,25	-24,58	-1,22
C15	38,51	8,57	1246,99	195,07	0,14	0,11
C15	-320,36	-379,45	-1041,10	-10,79	-22,29	-0,01
C16	38,50	364,78	1711,71	228,64	0,14	0,02
C16	-320,66	-453,01	-783,39	-130,39	-22,29	-0,11
C17	27,20	7,65	1179,17	187,76	0,22	0,96
C17	-311,19	-379,36	-971,78	-9,60	-22,99	-0,13
C18	170,07	366,27	1560,86	220,75	0,38	1,31
C18	-235,51	-446,90	-770,07	-132,61	-22,74	-0,57
C19	49,71	4,57	850,55	168,07	0,42	1,59
C19	-371,31	-383,68	-619,94	-5,80	-26,74	-1,64
C20	69,47	374,92	972,52	202,36	0,52	1,96
C20	-313,72	-439,47	-605,68	-139,67	-26,57	-3,10
C21	34,55	0,00	3256,80	42,81	0,83	24,89
C21	-228,79	-112,56	-128,19	-0,62	-13,99	-0,22
C22	0,27	116,72	556,51	22,77	0,38	-0,02
C22	-221,82	-2854,83	-162,63	-0,84	-167,51	-14,27
C23	0,35	2,52	532,61	18,39	0,52	1,67
C23	-212,80	-22,41	-2045,44	-1,21	-161,33	-0,50
C24	0,29	0,36	738,05	13,23	0,57	0,02
C24	-177,73	-9,47	-368,81	-0,50	-143,48	-0,09
C25	0,19	-0,45	2099,98	19,57	0,28	0,49
C25	-213,52	-25,74	-149,60	-0,27	-162,95	-1,67
C26	-0,04	204,91	486,31	22,91	-0,01	10,42
C26	-253,10	-2894,83	-265,12	-1,23	-188,24	-0,04
C27	195,82	93,65	641,16	46,78	0,83	47,54
C27	-199,60	-128,74	-2945,60	-20,31	-14,10	-24,65

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

### 1.3.Prototipo 4

**Tabla E-5: Reacciones en cimientos para el prototipo 4**

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	380,74	-0,05	1147,69	4,52	21,68	3,93
C1	-518,35	-2,88	-1250,18	-0,06	-23,92	-6,08
C2	112,17	0,10	60,81	4,07	69,51	0,01
C2	-121,62	-3,19	-0,30	-0,12	-75,41	-0,02
C3	536,13	2,16	1203,71	7,45	21,91	5,76
C3	-501,21	-4,70	-1249,70	-2,02	-23,91	-6,56
C4	233,18	40,37	3971,35	38,56	11,35	0,05
C4	-281,27	-1913,81	-118,99	-1,10	-22,64	-66,18
C5	162,22	0,80	717,09	20,12	105,47	2,18
C5	-208,68	-29,15	-40,57	-0,57	-144,00	-0,21
C6	468,48	60,72	783,56	17,18	61,19	24,53
C6	-437,30	-1606,83	-2757,97	0,00	-66,01	-18,66
C7	20,92	0,34	624,02	13,70	31,39	0,00
C7	-20,48	-9,63	-224,17	-0,49	-31,98	-0,45
C8	347,45	54,07	1229,86	23,91	61,22	23,62
C8	-455,04	-1681,19	62,65	-3,72	-66,19	-24,34
C9	195,00	2,31	453,01	21,79	134,74	2,30
C9	-208,68	-32,37	-864,42	-1,44	-144,07	-2,12
C10	148,75	171,00	699,13	55,37	15,28	65,55
C10	-321,34	-2073,05	-3898,03	-31,06	-22,62	-68,87
C11	144,00	0,12	890,33	309,79	7,86	0,01
C11	-522,89	-498,44	-775,42	-0,25	-13,86	-12,28
C12	193,21	427,74	1019,12	358,94	6,72	2,22
C12	-508,38	-545,64	-730,37	-287,84	-13,89	-4,59
C13	86,17	0,20	1209,31	310,78	3,71	0,27
C13	-395,21	-493,38	-1022,57	-0,38	-10,96	-1,09
C14	88,22	486,77	1640,58	376,69	3,20	0,92
C14	-404,93	-550,56	-809,94	-298,60	-11,02	-1,29
C15	41,68	0,22	1277,47	312,27	0,27	0,06
C15	-380,88	-493,38	-1075,69	-0,41	-9,78	0,00
C16	41,67	486,27	1800,79	381,92	0,87	0,00
C16	-381,08	-553,42	-805,67	-297,53	-9,78	-0,07
C17	32,09	0,20	1209,82	313,02	0,34	1,08
C17	-351,63	-495,87	-1003,74	-0,37	-9,98	-1,12
C18	31,84	489,44	1648,85	375,97	0,34	1,53
C18	-343,25	-549,86	-791,12	-301,03	-9,92	-0,91
C19	70,89	0,14	892,69	292,91	0,45	14,22
C19	-334,65	-480,50	-680,16	-0,26	-11,59	0,00
C20	22,27	476,23	1021,86	362,48	0,45	2,46
C20	-351,44	-549,41	-634,96	-284,75	-11,57	-10,29
C21	-5,13	35,56	4169,27	37,28	1,00	22,75
C21	-259,77	-1978,23	2,65	-1,07	-12,59	-0,06
C22	0,26	0,71	804,68	20,78	0,17	-0,01
C22	-224,30	-30,34	-109,10	-0,52	-177,86	-18,94
C23	0,07	57,59	568,26	17,47	0,17	14,28
C23	-296,91	-1629,44	-1920,31	0,15	-271,66	-0,41
C24	-0,05	0,33	640,17	13,78	0,00	0,01
C24	-245,15	-9,69	-227,85	-0,47	-246,07	-0,49
C25	-0,24	52,42	1966,90	16,64	-0,36	0,39
C25	-303,45	-1666,98	-64,32	-1,95	-282,82	-18,20
C26	0,08	2,36	470,16	21,16	-0,13	16,15
C26	-262,77	-31,09	-704,44	-1,46	-213,63	0,01
C27	98,98	173,02	713,45	56,89	1,00	72,57
C27	-194,19	-2010,52	-3692,73	-21,85	-12,62	-22,24

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

## 2. Invernaderos con techo en arco.

### 2.1.Prototipo 1

Tabla E-6: Reacciones en cimientos para el prototipo 1

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	195,71	-0,06	500,72	48,40	19,02	2,82
C1	-345,84	-65,41	-818,47	-0,04	-21,49	-4,81
C2	109,02	0,10	59,17	23,11	66,76	0,02
C2	-117,89	-17,91	0,52	-0,12	-72,21	-0,97
C3	258,30	1,44	587,73	53,75	19,67	4,62
C3	-347,41	-75,28	-813,92	-1,28	-21,46	-6,07
C4	197,07	21,68	3454,91	32,74	-0,28	0,04
C4	-206,78	-992,70	-88,90	-0,35	-27,00	-40,08
C5	204,42	42,81	581,49	11,35	37,26	10,30
C5	-362,35	-782,98	-2209,43	-0,49	-65,62	0,00
C6	16,33	0,33	420,42	12,33	18,90	0,06
C6	-24,19	-8,81	-112,46	-0,47	-28,51	-1,38
C7	237,49	20,72	1562,47	15,76	41,99	9,88
C7	-359,07	-809,47	-57,62	-1,79	-65,75	-10,11
C8	184,33	114,69	658,03	38,05	1,03	39,93
C8	-281,67	-1060,09	-3677,24	-23,14	-27,13	-40,32
C9	131,64	2,43	754,14	177,18	3,51	2,65
C9	-382,11	-393,31	-616,51	-3,07	-29,09	-0,35
C10	132,27	385,66	1088,72	213,02	1,28	1,37
C10	-414,34	-448,31	-590,41	-150,89	-29,44	-2,87
C11	30,83	3,07	851,26	182,27	0,15	0,00
C11	-324,27	-388,83	-1088,28	-3,88	-27,50	-0,14
C12	30,81	380,31	1504,09	217,62	0,04	0,07
C12	-324,89	-446,13	-639,68	-149,66	-27,57	-0,01
C13	22,64	2,48	756,40	178,24	0,19	0,79
C13	-291,75	-392,23	-592,15	-3,13	-30,23	-1,28
C14	29,02	384,39	1118,46	214,53	0,39	1,50
C14	-267,88	-450,44	-566,04	-150,30	-30,02	-2,70
C15	16,42	18,51	3659,86	32,39	0,70	25,99
C15	-262,65	-977,73	-89,99	-0,31	-21,74	-0,09
C16	1,20	40,65	420,87	9,40	1,55	0,00
C16	-192,47	-743,94	-1784,39	-0,39	-133,02	-1,08
C17	-0,22	0,30	429,82	11,76	-0,21	0,04
C17	-175,83	-8,37	-127,88	-0,43	-140,95	-1,30
C18	0,00	17,52	1887,66	9,69	0,03	1,00
C18	-224,47	-789,57	-65,96	-0,31	-158,65	-5,58
C19	187,93	93,73	672,98	37,47	0,70	52,55
C19	-185,54	-999,64	-3273,44	-22,99	-21,72	-25,72

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

En este caso se dividieron los cimientos en dos tipos, los cuales son:

**a. Zapatas tipo A:**

Estos son los cimientos C01, C02, C03, C06, C09, C10, C11, C12, C13, C14 y C17.

**Tabla E-7: Dimensiones finales para el cimiento tipo A**

Dato	Valor	Unidades
<i>Base</i>		
Ancho (B)	0,80	m
Largo (L)	0,80	m
Espesor (h)	0,35	m
<i>Pedestal</i>		
Ancho (b <sub>1</sub> )	0,30	m
Largo (b <sub>2</sub> )	0,30	m
Altura (a)	0,50	m
<b><i>Fuerza en contra de succión</i></b>	<b><i>1100</i></b>	<b><i>kg</i></b>

Fuente: Autor

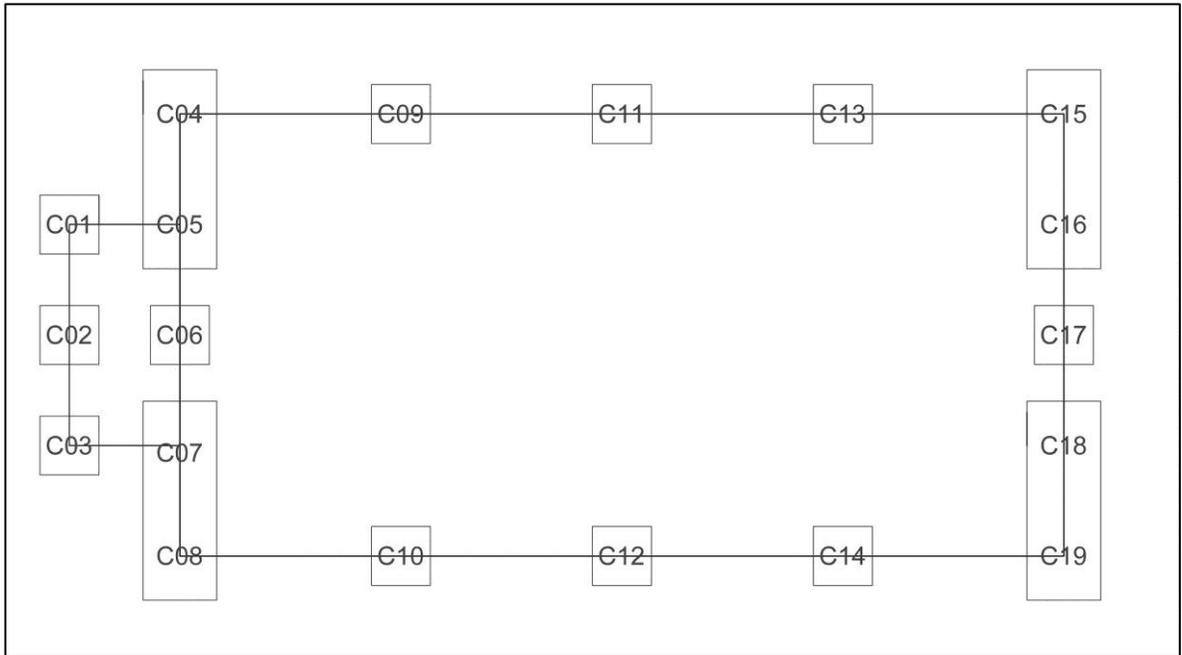
**b. Zapatas tipo B:**

Estos son los cimientos C04, C05, C07, C08, C15, C16, C18 y C19

**Tabla E-8: Dimensiones finales para el cimiento tipo B**

Dato	Valor	Unidades
L <sub>1</sub>	0,6	m
L <sub>2</sub>	0,6	m
L <sub>3</sub>	1,5	m
L	2,70	m
B	1,00	m
Espesor de base	0,35	m
Ancho de pedestal	0,30	m
Altura de pedestal	0,50	m
<b><i>Fuerza en contra de succión</i></b>	<b><i>4455</i></b>	<b><i>kg</i></b>

Fuente: Autor



**Figura E-2: Planta de cimientos para el prototipo 1**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

## 2.2.Prototipo 2

**Tabla E-9: Reacciones en cimientos para el prototipo 2**

Cimiento	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	(Kgf)	(Kgf)	(Kgf)	(Kgf-m)	(Kgf-m)	(Kgf-m)
C1	323,90	-0,04	907,30	47,52	21,44	2,13
C1	-450,61	-61,18	-1098,97	-0,08	-23,85	-4,58
C2	114,39	0,11	59,38	23,70	69,96	0,01
C2	-122,91	-18,39	-0,53	-0,14	-75,21	-0,95
C3	471,85	1,43	1102,84	54,82	22,31	4,40
C3	-446,10	-77,13	-1094,39	-1,17	-23,81	-5,93
C4	159,44	29,54	3948,57	34,97	2,72	0,14
C4	-277,03	-1305,19	-93,81	-0,74	-20,82	-49,20
C5	359,12	70,51	732,40	16,65	47,82	9,66
C5	-414,77	-734,47	-2063,39	-0,31	-60,03	0,00
C6	31,06	0,40	408,13	14,89	44,77	0,03
C6	-30,96	-10,60	-186,77	-0,56	-45,41	-1,73
C7	357,88	63,33	868,86	21,32	55,41	14,68
C7	-417,29	-740,43	-32,34	-3,77	-60,19	-9,47
C8	131,41	182,72	692,50	49,54	10,44	48,74
C8	-298,46	-1532,22	-4312,29	-30,27	-20,78	-54,64
C9	72,94	1,40	797,56	316,23	2,94	0,21
C9	-462,50	-505,08	-743,99	-2,36	-13,12	-7,68
C10	140,14	501,14	1159,22	368,91	1,96	6,16
C10	-444,61	-555,57	-709,64	-309,17	-13,13	-8,61
C11	35,78	1,90	887,71	330,82	0,23	0,00
C11	-404,93	-513,82	-1123,85	-3,09	-12,18	-0,49
C12	35,78	509,05	1595,11	386,30	0,23	0,43
C12	-405,39	-564,43	-741,98	-322,50	-12,19	-0,01
C13	66,41	1,44	798,86	308,73	0,36	12,16
C13	-364,39	-497,16	-692,63	-2,40	-13,29	-0,20
C14	27,53	493,07	1196,64	378,90	0,36	3,47
C14	-385,36	-565,64	-657,93	-301,48	-13,30	-10,59
C15	9,68	30,04	4204,22	30,99	0,98	26,16
C15	-210,54	-1339,91	-94,63	-0,72	-10,80	-0,20
C16	0,60	69,32	441,13	14,02	0,88	-0,02
C16	-235,66	-695,08	-1357,93	-0,16	-190,08	-9,63
C17	-0,13	0,37	374,70	14,47	-0,13	0,03
C17	-232,99	-10,29	-92,99	-0,52	-227,20	-2,48
C18	-0,09	33,41	1400,56	14,47	-0,09	8,55
C18	-278,79	-740,76	-42,65	-1,19	-231,58	-0,12
C19	40,84	136,09	704,45	53,07	0,98	73,45
C19	-207,81	-1407,25	-3863,36	-25,13	-14,23	-25,55

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

En este caso se dividieron los cimientos en dos tipos, los cuales son:

**a. Zapatas tipo A:**

Estos son los cimientos C04, C08, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15 y C19.

**Tabla E-10: Dimensiones finales para el cimiento tipo A**

Dato	Valor	Unidades
Base		
Ancho (B)	1,50	m
Largo (L)	1,50	m
Espesor (h)	0,35	m
Pedestal		
Ancho (b1)	0,30	m
Largo (b2)	0,30	m
Altura (a)	0,65	m
<i>Fuerza en contra de succión</i>	<i>4347</i>	<i>kg</i>

Fuente: Autor

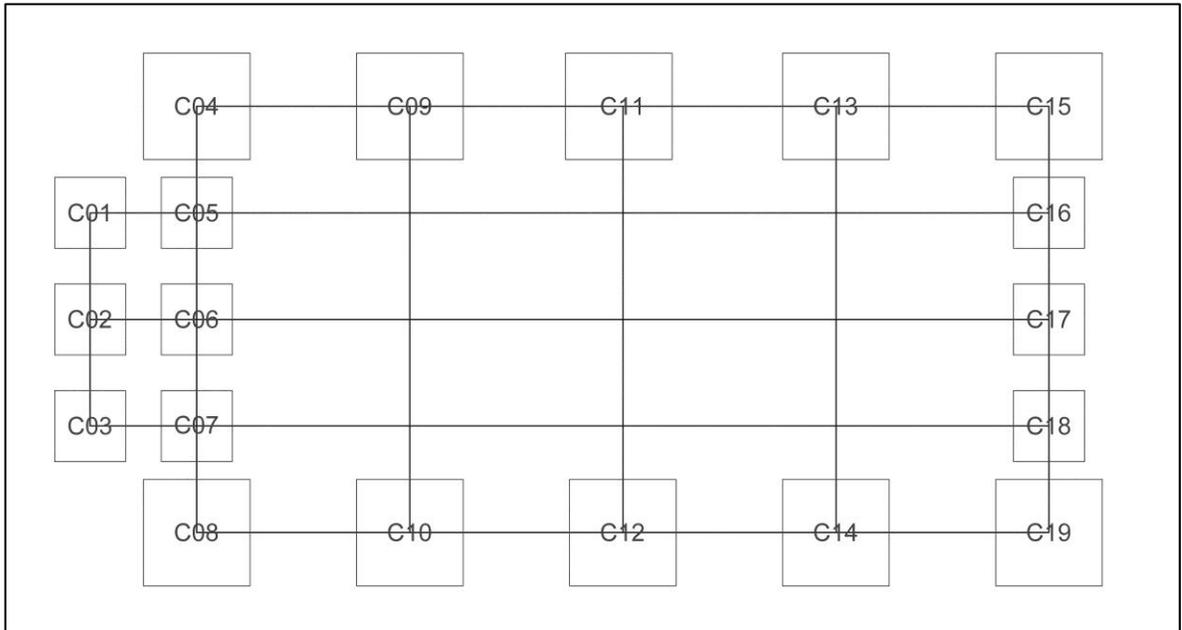
**b. Zapatas tipo B:**

Estos son los cimientos C01, C02, C03, C05, C06, C07, C16, C17 y C18.

**Tabla E-11: Dimensiones finales para el cimiento tipo B**

Dato	Valor	Unidades
Base		
Ancho (B)	1,00	m
Largo (L)	1,00	m
Espesor (h)	0,35	m
Pedestal		
Ancho (b1)	0,30	m
Largo (b2)	0,30	m
Altura (a)	0,65	m
<i>Fuerza en contra de succión</i>	<i>2045,1</i>	<i>kg</i>

Fuente: Autor



**Figura E-3: Planta de cimientos para el prototipo 2**

Fuente: Autor, hecha con AutoCAD 2011

### 2.3.Prototipo 3

**Tabla E-12: Reacciones en cimientos para el prototipo 3**

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	259,88	-0,06	815,89	30,53	13,27	3,74
C1	-404,40	-49,53	-942,45	-0,04	-22,47	-6,71
C2	108,13	0,10	60,36	14,87	66,45	0,02
C2	-123,78	-11,51	3,81	-0,13	-76,82	-0,69
C3	353,87	49,26	833,30	36,11	13,50	6,57
C3	-400,77	-51,43	-944,22	-23,41	-22,48	-5,62
C4	187,70	-0,40	2609,08	39,17	1,80	0,16
C4	-204,72	-107,77	-337,52	-0,27	-16,19	-35,76
C5	195,76	94,33	470,20	19,02	132,62	4,97
C5	-250,95	-2350,67	-155,59	-0,79	-169,67	-0,26
C6	359,90	2,44	686,14	15,31	59,74	13,22
C6	-372,94	-18,49	-2271,87	-1,25	-65,48	-9,09
C7	20,20	0,37	638,46	10,93	23,53	0,01
C7	-20,04	-7,82	-224,84	-0,52	-24,07	-1,05
C8	277,89	1,54	1306,28	21,40	58,71	11,34
C8	-378,96	-26,68	-113,67	-2,60	-65,55	-13,15
C9	224,82	195,91	449,15	19,06	150,75	3,06
C9	-251,03	-2453,25	-207,41	-1,23	-169,80	-2,22
C10	197,11	80,05	619,21	43,32	1,12	35,71
C10	-202,06	-124,21	-2345,30	-18,82	-16,16	-45,90
C11	307,52	3,34	880,62	162,77	16,80	3,51
C11	-509,06	-347,59	-778,50	-4,20	-31,61	-1,09
C12	233,97	336,59	1158,60	192,76	13,08	3,30
C12	-515,06	-431,95	-637,59	-131,32	-31,74	-3,59
C13	208,68	5,62	1209,68	180,69	7,99	0,08
C13	-372,90	-358,48	-996,44	-6,97	-25,83	-0,82
C14	104,76	327,94	1782,00	205,82	5,44	0,36
C14	-401,56	-435,55	-765,11	-126,00	-25,94	-1,09
C15	38,27	6,27	1283,40	187,31	0,13	0,14
C15	-365,87	-363,30	-1038,45	-7,80	-23,41	-0,01
C16	38,26	327,65	1932,19	211,45	0,13	0,01
C16	-365,99	-439,90	-788,98	-125,18	-23,41	-0,14
C17	25,43	5,62	1210,42	180,98	0,22	0,74
C17	-327,00	-358,76	-980,47	-6,97	-23,88	-0,08
C18	112,83	328,52	1788,61	205,55	0,30	1,17
C18	-299,37	-435,29	-753,92	-126,38	-23,78	-0,31
C19	71,75	3,34	883,60	163,09	0,41	1,23
C19	-357,34	-347,67	-674,58	-4,20	-27,57	-1,35
C20	51,73	333,54	1182,60	192,50	0,54	1,43
C20	-343,90	-431,92	-537,64	-130,00	-27,44	-3,58
C21	62,31	-0,40	2727,54	39,45	0,84	18,11
C21	-212,14	-108,33	-89,12	-0,27	-14,56	-0,16
C22	-0,15	86,92	528,56	19,11	-0,26	-0,06
C22	-223,25	-2398,72	-195,12	-0,75	-169,34	-14,34
C23	-0,15	2,38	514,00	15,24	-0,12	0,88
C23	-213,82	-18,47	-1673,85	-1,18	-162,67	-0,41
C24	0,05	0,35	659,16	11,00	0,22	0,01
C24	-178,35	-7,88	-344,59	-0,49	-144,34	-0,07
C25	0,16	-0,47	1853,49	16,52	0,20	0,41
C25	-214,26	-21,96	-192,20	-0,26	-163,98	-1,65
C26	-0,17	195,37	465,93	19,14	-0,11	10,14
C26	-254,33	-2416,50	-196,13	-1,18	-189,60	-0,09
C27	101,07	81,66	631,27	43,17	0,84	47,92
C27	-199,90	-123,80	-2229,67	-18,70	-14,59	-18,06

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

## 2.4. Prototipo 4

**Tabla E-13: Reacciones en cimientos para el prototipo 4**

Cimiento	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fz (Kgf)	Mx (Kgf-m)	My (Kgf-m)	Mz (Kgf-m)
C1	382,36	-0,05	1141,00	48,92	21,59	3,57
C1	-512,43	-66,14	-1254,27	-0,06	-23,88	-7,26
C2	112,25	0,10	59,82	23,97	69,63	0,00
C2	-122,26	-18,56	11,31	-0,12	-76,53	-1,08
C3	548,14	49,22	1220,35	56,64	22,06	7,14
C3	-505,37	-78,46	-1254,98	-23,87	-23,89	-7,20
C4	226,02	41,35	3743,25	42,52	10,98	0,21
C4	-310,58	-1859,16	-396,31	-1,11	-22,96	-76,32
C5	154,89	0,81	694,32	19,34	98,78	2,34
C5	-212,69	-28,04	-66,75	-0,58	-147,54	-0,21
C6	454,55	60,58	853,40	17,03	61,03	26,17
C6	-440,74	-1536,28	-2609,76	-0,01	-66,05	-13,58
C7	20,50	0,34	568,51	13,06	31,05	0,01
C7	-18,74	-9,19	-160,95	-0,48	-29,72	-1,98
C8	351,01	51,20	1205,19	23,76	60,71	29,10
C8	-449,10	-1619,90	-85,49	-6,30	-66,10	-26,11
C9	202,75	2,53	434,95	20,85	142,03	2,07
C9	-212,69	-30,98	-734,56	-1,37	-147,59	-2,30
C10	153,03	206,94	686,24	60,48	15,35	76,12
C10	-311,40	-1992,29	-3481,98	-38,21	-22,95	-79,95
C11	148,19	1,72	925,52	332,95	8,00	0,31
C11	-531,10	-562,60	-866,04	-2,84	-13,72	-11,42
C12	210,36	560,76	1217,24	381,07	6,11	1,64
C12	-516,36	-612,50	-727,34	-329,53	-13,71	-3,00
C13	84,03	2,99	1239,85	332,28	3,75	0,25
C13	-406,46	-555,15	-1064,30	-4,82	-10,94	-0,88
C14	85,81	552,37	1895,00	394,80	2,53	0,69
C14	-408,47	-613,28	-841,06	-327,22	-10,96	-1,20
C15	41,32	3,35	1314,50	332,26	0,27	0,07
C15	-391,66	-555,28	-1096,80	-5,42	-9,83	0,00
C16	41,38	552,21	2060,55	399,29	0,27	0,00
C16	-391,67	-615,91	-851,94	-326,63	-9,84	-0,07
C17	32,23	2,99	1239,67	334,54	0,34	0,75
C17	-358,25	-557,68	-1046,45	-4,82	-10,11	-1,02
C18	32,03	554,90	1903,46	394,06	0,34	1,44
C18	-357,18	-612,59	-822,69	-329,47	-10,10	-0,68
C19	50,45	1,72	927,28	315,65	0,45	13,61
C19	-344,47	-544,32	-765,44	-2,85	-11,84	-0,31
C20	36,01	542,48	1248,96	384,29	0,45	1,15
C20	-361,26	-615,97	-626,21	-312,22	-11,85	-9,77
C21	12,05	42,41	3900,46	40,56	1,00	32,42
C21	-254,48	-1882,36	-73,71	-1,08	-12,53	-0,22
C22	0,14	0,78	777,22	19,54	-0,13	-0,02
C22	-222,76	-28,56	-139,52	-0,53	-177,33	-19,30
C23	-0,16	57,46	544,30	16,55	-0,20	14,25
C23	-297,91	-1526,05	-1742,89	0,09	-273,05	-0,33
C24	-0,10	0,32	582,63	12,81	-0,06	0,02
C24	-246,03	-9,01	-253,16	-0,46	-247,46	-0,51
C25	-0,16	49,40	1922,96	15,47	-0,19	0,32
C25	-304,55	-1570,72	-180,38	-1,87	-284,79	-18,44
C26	0,07	2,23	449,75	19,72	-0,14	15,97
C26	-266,41	-28,97	-564,62	-1,39	-216,91	0,00
C27	27,76	165,38	698,03	61,41	0,99	83,05
C27	-208,00	-1885,27	-3229,62	-28,73	-15,75	-32,21

Fuente: Autor, datos de SAP2000 v14

## Anexo F: Secciones finales de los invernaderos

### 1. Invernaderos con techo en dos aguas.

#### 1.1. Prototipo 2

**Tabla F-1: Secciones finales para el marco frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-2: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

## 1.2.Prototipo 3

**Tabla F-3: Secciones finales para el marco central y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<i><b>Puerta de Acceso</b></i>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-4: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

### 1.3.Prototipo 4

**Tabla F-5: Secciones finales para marco frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-6: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	72x72	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50x50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

## 2. Invernaderos con techo en arco.

### 2.1.Prototipo 1

**Tabla F-7: Secciones finales para el marco frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-8: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

## 2.2.Prototipo 2

**Tabla F-9: Secciones finales para el marco frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerdas Superiores	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-10: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerdas Superiores	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

### 2.3.Prototipo 3

**Tabla F-11: Secciones finales para el marco frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<i><b>Puerta de Acceso</b></i>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-12: Secciones finales para los marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor

## 2.4.Prototipo 4

**Tabla F-13: Secciones finales para los marcos frontal y posterior**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8
<b><i>Puerta de Acceso</i></b>		
Columnas de Puerta	50x50	1,8
Vigas de Puerta (frontal y lateral)	50x50	1,8
Arriostres de Puerta	50x50	1,8

Fuente: Autor

**Tabla F-14: Secciones finales para marcos internos**

Descripción	Sección	Espesor (mm)
Columnas	72x72	1,8
Arriostres Triangulo de Marco	50x50	1,8
Arriostres Frontales	50x50	1,8
Cuerda Superior	63	1,8
Cuerda Inferior	50x50	1,8
Ventana Cenital	50	1,8
Ventana Lateral	50x50	1,8
Arriostre entre Marcos	50x50	1,8
	72x72	1,8
Arriostres de Techo	50x50	1,8
Largueros de Techo	72x72	1,8
Vigas de Techo	50x50	1,8
Elementos de Cercha	50x50	1,8

Fuente: Autor





