

**ESTIMACIÓN DEL PESO PROPIO DE CUBIERTAS METÁLICAS CON TEJA DE
ASBESTO CEMENTO A DOS AGUAS PARA DIFERENTES MODULACIONES
EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

JUAN PABLO JIMENEZ CAMACHO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2011**

**ESTIMACIÓN DEL PESO PROPIO DE CUBIERTAS METÁLICAS CON TEJA DE
ASBESTO CEMENTO A DOS AGUAS PARA DIFERENTES MODULACIONES
EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

JUAN PABLO JIMENEZ CAMACHO
Tesis de grado como requisito para optar
al título de Ingeniera Civil

Director:
NESTOR IVÁN PRADO GARCÍA
M.I.C. Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2011**

A Dios por estar en mi vida guiándome y por permitirme culminar una etapa más en mi vida.

A mis padres por su apoyo incondicional y por sus esfuerzos para que esto fuera posible.

A mis hermanos por acompañarme en este arduo proceso y por el amor que me brindaron

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a aquellas personas que creyeron en mis capacidades y me acompañaron en el desarrollo de este proceso.

Néstor Iván Prado García, Ingeniero Civil y Director de este proyecto por su colaboración en mi trabajo de grado.

Claudia Patricia Retamoso Llamas, Ingeniera Civil docente de la Universidad Pontificia Bolivariana por su incondicional asesoría.

Ricardo Pico, Ingeniero Civil docente de la Universidad Pontificia Bolivariana por el conocimiento que supo transmitirme.

Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga, por acogerme a lo largo de mi trayectoria Universitaria.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. GLOSARIO	13
4. ESTADO DEL ARTE	15
5. METODOLOGIA	19
5.1 PRIMERA ETAPA	19
5.2 SEGUNDA ETAPA	19
5.2.1 Geometría de la Cercha	20
5.2.2 Cargas Asignadas a la Estructura	21
5.2.2.1 Carga Muerta	21
5.2.2.2 Carga Viva	22
5.2.2.3 Fuerza de Viento	23
5.2.3 Modelo en SAP 2000 V11	36
5.2.3.1 Casos de Carga	39
5.2.3.2 Combinaciones de Carga	39
5.2.3.3 Datos de Entrada	47
5.2.3.4 Datos de Salida	51
5.2.4 Diseño de los Elementos	55
5.2.4.1 Diseño del Cordón Inferior	55
5.2.4.2 Diseño de las diagonales	56
5.2.4.3 Diseño del Cordón Superior	57
5.2.4.4 Diseño de los Montantes	61
5.2.4.5 Diseño de las Correas	64
5.2.5 Estimación del Peso Propio	68
5.3 TERCERA ETAPA	80
5.3.1 Peso Propio Real de las Cubiertas	81
5.3.2 Porcentaje de Peso Aportado por cada Elemento a las Cubiertas	83
5.3.3 Análisis de la Variación del Peso Propio Real de la Estructura con los Pesos Aportados por Cerchas y Correas	
6. CONCLUSIONES	100
7. RECOMENDACIONES	102
8. BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXO A. DISEÑO FINAL DE LOS ELEMENTOS DE LAS CUBIERTAS	104
ANEXO B. PLANTA Y CORTES DE LAS CUBIERTAS	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Armadura Warren	17
Figura 2. Armadura Howe	17
Figura 3. Armadura Pratt	18
Figura 4. Armadura Fink	18
Figura 5. Geometría de la cercha	21
Figura 6. Carga puntual en el nodo 18 debido a la carga muerta	22
Figura 7. Carga Puntual en el nodo 18 debido a la carga viva	23
Figura 8. Mapa de la amenaza eólica. Velocidad del viento	24
Figura 9. Relación de dimensiones en alzada. Caso 1	28
Figura 10. Coeficientes locales	29
Figura 11. Carga puntual en el nodo 18 debido a cargas de viento. CW1	31
Figura 12. Carga puntual en el nodo 29 debido a cargas de viento. CW1	31
Figura 13. Carga puntual en el nodo 18 debido a cargas de viento. CW3	32
Figura 14. Carga puntual en el nodo 18 debido a cargas de viento. CW2	33
Figura 15. Carga puntual en el nodo 18 debido a cargas de viento. CW4	34
Figura 16. Carga puntual en el nodo 26 debido a cargas de viento. CW1	35
Figura 17. Numeración de los nodos de la cercha	37
Figura 18. Numeración de los elementos de la cercha	38
Figura 19. Cargas puntuales debido la carga muerta	41
Figura 20. Cargas puntuales debido a la carga viva. CV	42
Figura 21. Cargas puntuales debido a la carga de viento CW1	43
Figura 22. Cargas puntuales debido a la carga de viento CW2	44
Figura 23. Cargas puntuales debido a la carga de viento CW3	45
Figura 24. Cargas puntuales debido a la carga de viento CW4	46
Figura 25. Perfil en ángulo doble	59
Figura 26. Diseño a flexión de perlines para correas	66
Figura 27. Diseño a flexión de perlines para correas	67
Figura 28. Variación entre el peso propio asumido y el peso propio real (cubiertas 1 – 9).	81
Figura 29. Variación entre el peso propio asumido y el peso propio real (cubiertas 10 – 18).	82
Figura 30. Porcentaje de peso aportado por cerchas y correas a las cubiertas luz=20m.	92
Figura 31. Porcentaje de peso aportado por cerchas y correas a las cubiertas luz=25m.	93
Figura 32. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 1, 2 y 3)	93
Figura 33. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 4, 5 y 6)	94
Figura 34. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 7, 8 y 9)	94
Figura 35. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 1, 4 y 7)	95
Figura 36. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 2, 5 y 8)	95

Figura 37. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 3, 6 y 9)	96
Figura 38. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 10, 11 y 12)	96
Figura 39. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 13, 14 y 15)	97
Figura 40. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 16, 17 y 18)	97
Figura 41. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 10, 13 y 16)	98
Figura 42. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 11, 14 y 17)	98
Figura 43. Separación entre cerchas versus peso propio (Cubiertas 12, 15 y 18)	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de las características de las 18 cubiertas	19
Tabla 2. Coeficiente de topografía S1	25
Tabla 3. Coeficiente de rugosidad del terreno	26
Tabla 4. Coeficiente S4	27
Tabla 5. Coeficientes de presión Cpe para cubiertas a dos aguas de edificios rectangulares revestidos	28
Tabla 6. Cargas asignadas a la estructura	35
Tabla 7. Coordenadas de los nodos	36
Tabla 8. Definición de combinaciones	47
Tabla 9. Sistema de coordenadas	49
Tabla 10. Propiedades de las secciones	49
Tabla 11. Definición de las cargas	50
Tabla 12. Propiedades del material	50
Tabla 13. Fuerzas máximas y mínimas en los elementos	51
Tabla 14. Características de las cubiertas	54
Tabla 15. Factores de longitud efectiva de columnas	58
Tabla 16. Estimación del peso propio cubierta 1	68
Tabla 17. Estimación del peso propio cubierta 2	68
Tabla 18. Estimación del peso propio cubierta 3	69
Tabla 19. Estimación del peso propio cubierta 4	69
Tabla 20. Estimación del peso propio cubierta 5	70
Tabla 21. Estimación del peso propio cubierta 6	70
Tabla 22. Estimación del peso propio cubierta 7	71
Tabla 23. Estimación del peso propio cubierta 8	71
Tabla 24. Estimación del peso propio cubierta 9	72
Tabla 25. Estimación del peso propio cubierta 10	72
Tabla 26. Estimación del peso propio cubierta 11	73
Tabla 27. Estimación del peso propio cubierta 12	73
Tabla 28. Estimación del peso propio cubierta 13	74
Tabla 29. Estimación del peso propio cubierta 14	74
Tabla 30. Estimación del peso propio cubierta 15	75
Tabla 31. Estimación del peso propio cubierta 16	75
Tabla 32. Estimación del peso propio cubierta 17	76
Tabla 33. Estimación del peso propio cubierta 18	76
Tabla 34. Perfiles de las cerchas cubierta 1	77
Tabla 35. Perfiles de las cerchas cubierta 2	77
Tabla 36. Perfiles de las cerchas cubierta 3	77
Tabla 37. Perfiles de las cerchas cubierta 4	77
Tabla 38. Perfiles de las cerchas cubierta 5	77
Tabla 39. Perfiles de las cerchas cubierta 6	78

Tabla 40. Perfiles de las cerchas cubierta 7	78
Tabla 41. Perfiles de las cerchas cubierta 8	78
Tabla 42. Perfiles de las cerchas cubierta 9	78
Tabla 43. Perfiles de las cerchas cubierta 10	78
Tabla 44. Perfiles de las cerchas cubierta 11	79
Tabla 45. Perfiles de las cerchas cubierta 12	79
Tabla 46. Perfiles de las cerchas cubierta 13	79
Tabla 47. Perfiles de las cerchas cubierta 14	79
Tabla 48. Perfiles de las cerchas cubierta 15	79
Tabla 49. Perfiles de las cerchas cubierta 16	80
Tabla 50. Perfiles de las cerchas cubierta 17	80
Tabla 51. Perfiles de las cerchas cubierta 18	80
Tabla 52. Comparación del peso propio asumido y peso propio real	81
Tabla 53. Peso propio real de las 18 cubiertas	82
Tabla 54. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 1	83
Tabla 55. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 2	83
Tabla 56. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 3	84
Tabla 57. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 4	84
Tabla 58. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 5	85
Tabla 59. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 6	85
Tabla 60. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 7	86
Tabla 61. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 8	86
Tabla 62. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 9	87
Tabla 63. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 10	87
Tabla 64. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 11	88
Tabla 65. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 12	88
Tabla 66. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 13	89
Tabla 67. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 14	89
Tabla 68. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 15	90
Tabla 69. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 16	90
Tabla 70. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 17	91
Tabla 71. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 18	91
Tabla 72. Peso total de las cubiertas	92

RESUMEN

TITULO: ESTIMACIÓN DEL PESO PROPIO DE CUBIERTAS METÁLICAS CON TEJA DE ASBESTO CEMENTO A DOS AGUAS PARA DIFERENTES MODULACIONES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

AUTOR: JUAN PABLO JIMENEZ CAMACHO

FACULTAD: Ingeniería Civil

DIRECTOR: Néstor Iván Prado García

A la hora de diseñar cubiertas metálicas se asume un peso propio basado en la experiencia pero no necesariamente coincide con el peso propio real arrojado después del diseño de la estructura lo que probablemente conlleva a un margen de error considerable que puede aumentar los costos del proyecto o peor aún subdiseñarlo.

Es por lo anterior que este trabajo se enfoca en la realización de una base de datos con el estudio previo realizado a 18 cubiertas metálicas cargadas con teja de asbesto cemento tipo Howe divididas en dos ciclos y cada uno de ellos en diferentes modulaciones.

PALABRAS CLAVES: Cubiertas Metálicas, peso propio, asbesto cemento, peso propio.

ABSTRACT

TITLE: Estimate of own weight steel roof tile with asbestos cement water for two different module on the metropolitan area of Bucaramanga

AUTHOR: JUAN PABLO JIMENEZ CAMACHO

DEPARTMENT: Civil Engineering

DIRECTOR: Néstor Iván Prado Garcia

In the design of steel roofing, it assume a dead weight, based on experience but not necessarily coincides with the real self weight thrown after the design of the structure which probably bring a considerable margin of error that we can increase project costs, sub design worse.

It is for this that this paper focuses on the creation of a database with the previous study to 18 loaded steel roofing with asbestos cement tiles Howe type divided into two cycles each in different modulations.

KEYWORDS: Metal Roofing, own weight, asbestos cement, dead weight.

INTRODUCCIÓN

El acero es un material que posee diferentes características como bajo peso, fácil manipulación, adaptabilidad, fácil mantenimiento, etc.; por eso se ha convertido en una de las opciones más favorables en el momento de la fabricación de diferentes tipos de estructuras en las que se encuentran las estructuras a dos aguas; estas son utilizadas en grandes construcciones por brindar un menor tiempo de adecuación, mayor economía entre otras.

Siempre a la hora de diseñar cubiertas metálicas se asume un peso propio basado en la experiencia pero no necesariamente coincide con el peso propio real arrojado después del diseño de la estructura lo que probablemente conlleva a un margen de error considerable que puede aumentar los costos del proyecto o peor aún subdiseñarlo.

Es por lo anterior que se decide realizar el presente estudio el cual servirá como una guía en la que se brinda el peso propio real para diseñar cubiertas metálicas de esta similitud. ¿Cómo cuantificar el peso propio real para diferentes modulaciones de cubiertas metálicas a dos aguas?

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Determinar el peso propio de cubiertas metálicas con teja de asbesto cemento a dos aguas para diferentes modulaciones en el área metropolitana de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar geométricamente la cubierta a analizar.
- Analizar la estructura en el programa SAP 2000, para encontrar las fuerzas requeridas en cada uno de los elementos.
- Diseñar estructuralmente cada elemento de la cubierta.
- Calcular el peso propio real y comparar con los asumidos para el diseño de la misma.
- Realizar el proceso iterativamente hasta que la diferencia entre el peso propio real y el asumido sea mínima.
- Graficar y analizar los resultados para cada proceso.

2. JUSTIFICACIÓN

Las estructuras metálicas son una herramienta que ofrece innumerables beneficios a la ingeniería civil en el momento de pensar en una construcción moderna y rápida.

El propósito fundamental en la utilización de estructuras metálicas en la creación de grandes edificaciones es lograr que de una forma económica y segura se obtenga una serie de beneficios para su realización como: menor tiempo de construcción, adaptabilidad de espacios, grandes luces, facilidad en el mantenimiento, adaptación arquitectónica, bajo peso entre otras.¹

Es por lo anterior que se busca la implementación de este tipo de estructuras en obras civiles pues permite al ingeniero crear proyectos mucho más resistentes, económicos y duraderos.

Con el fin de simplificar la tarea a la hora de la utilización de cubiertas metálicas a dos aguas se decide realizar una base de datos que permita el mejoramiento y la precisión del diseño de este tipo de estructuras para que de esta forma el profesional cuente con un apoyo en el momento de utilizar dichas estructuras.

¹ Estructuras Metálicas Ventajas y desventajas [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://mixty.blogspot.com/2006/09/estructura-metlica-ventajas.html>. Consultado: 24 de Octubre de 2009.

3. GLOSARIO

A continuación se suministran algunas definiciones utilizadas en el proyecto de grado.

Cargas: Son fuerzas que actúan sobre el sistema estructural y estas pueden ser permanentes como lo es el peso propio de la estructura, y temporales como lo es el peso de ocupantes, muebles y cargas de viento

Carga Muerta: La principal carga muerta es el peso propio de la estructura, sus valores se obtienen considerando el peso específico del material de la estructura y el volumen de la estructura, otro peso considerado en la carga muerta es el de las tejas, lámparas, acabados etc.

Cargas Vivas: Las cargas vivas se deben al uso y ocupación de la edificación, incluyendo cargas debidas a objetos móviles y particiones que se puedan cambiar de sitio.

Fuerzas de Viento: Las cargas de viento producen presión o succión sobre las superficies expuestas de las construcciones. La carga de viento es una carga muy importante en el diseño de estructuras altas o muy flexibles, como los puentes colgantes, o de gran superficie lateral, como las bodegas o grandes cubiertas.

Barlovento: Dirección de donde viene el viento.

Coeficiente de Presión: La razón entre la presión que actúa en un punto de la superficie y la presión dinámica del viento incidente.

Topografía: Características de la superficie terrestre.

Rugosidad del Terreno: Características de la superficie terrestre en lo relacionado con obstáculos de pequeña escala tales como árboles y edificaciones.

Sotavento: Dirección hacia dónde va el viento.

Coeficiente de Carga: Tiene en cuenta las desviaciones inevitables de las cargas reales con respecto a las cargas nominales y las incertidumbres que se tienen en el análisis estructural al transmitir las cargas externas en los elementos internos de la estructura.

Montantes: elementos verticales que conforman la ce

Cartelas: elementos fabricados en platina, que sirven para unir los montantes y diagonales con el cordón superior e inferior.

Diagonales: elementos de la cercha ubicados dentro de ella con un grado de inclinación

Riostras: elemento dentro de la cubierta que sirven para darle rigidez a la misma amarrando una cercha con otra, desde puntos opuestos formando una "X".

Perlines: elementos utilizados actualmente para remplazar las correas que se ubican sobre las cerchas.

Peso propio: es la suma de todos los pesos de los elementos que conforman la estructura como lo son riostras, cartelas, tirantes, tensores, contravientos, cerchas y en este caso perlines.

4. ESTADO DEL ARTE

Una armadura es un sistema estructural reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos. Los elementos conforman, comúnmente, uno o varios triángulos en un solo plano y se disponen de forma tal que las cargas externas se aplican a los nudos, por lo que en teoría, sólo causan efectos de tensión o de compresión. En la realidad, algunos esfuerzos de flexión pueden ocurrir como resultado de la fricción en las uniones y de cargas distribuidas aplicadas a los miembros entre las juntas (como el peso propio, por ejemplo); generalmente, estos esfuerzos son menores comparados con las fuerzas axiales y, por lo común, se ignoran para propósitos analíticos.²

Las armaduras (también llamadas celosías o cerchas) están compuestas por:

- **Cuerda Superior:** formada por los elementos unidos en toda la parte superior de la armadura, y que generalmente soportan las cargas de la cubierta del techo, que para un trabajo eficiente deben estar concentradas en los nudos
- **Cuerda Inferior:** formada por los elementos unidos en toda la parte inferior de la armadura, y que generalmente soportan las cargas de las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias, aire acondicionado, o de los vehículos en el caso de los puentes
- **Elementos Secundarios:** formada por los elementos unidos en toda la parte interior de la armadura, y que generalmente ayudan a soportar las cargas de la cuerda superior e inferior, e inclusive muchas veces algunos elementos tienen fuerza interna axial de valor cero, que se colocan, por simetría, rigidez, estética y construcción.

² McCormac J. Análisis y diseño de estructuras metálicas método LRFD. México: Editorial Alfaomega, 1991

Las armaduras más usadas para la construcción de cubiertas de techos son la Pratt, Fink, Howe y Warren.

Para la selección del tipo de armadura que ha de usarse, es una cuestión de llenar los requisitos de las condiciones de trabajo y de usar materiales y procedimientos en una forma económica. El tipo de triangulación seleccionado puede depender hasta cierto punto de las preferencias del proyectista, pero un factor importante que debe considerarse es el ángulo entre miembros que se intersecan. Además el peralte de la armadura puede estar determinado por la pendiente deseada en un techo.

SOBRE LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ARMADURA

La elección del tipo de armadura depende de varios factores como son: Luz a salvar, carga a soportar, tipo de cubierta desde el punto de vista arquitectónico, necesidades de iluminación, aislamiento y ventilación.

Algunos tipos de armaduras, por su eficiencia en la configuración, pueden cubrir grandes luces, como las de forma de arco en la cuerda superior, sin embargo constructivamente son más difíciles y se convierten en soluciones no usuales o especiales. Sin embargo en los últimos años los techos curvos auto soportantes, pueden ofrecer soluciones prácticas para cubiertas de hangares, bodegas, fábricas, talleres, y otros usos.³

³ Armaduras y su eficiencia estructural [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.arqhys.com/tutoriales/2009/11/armaduras-y-su-eficiencia-estructural.html>. Consultado: 24 de Octubre de 2009.

Figura 1: armadura Warren



Fuente: www.virtual.unal.edu.co/.../tem01/lec01_4_1.htm

Figura 2: Armadura Howe



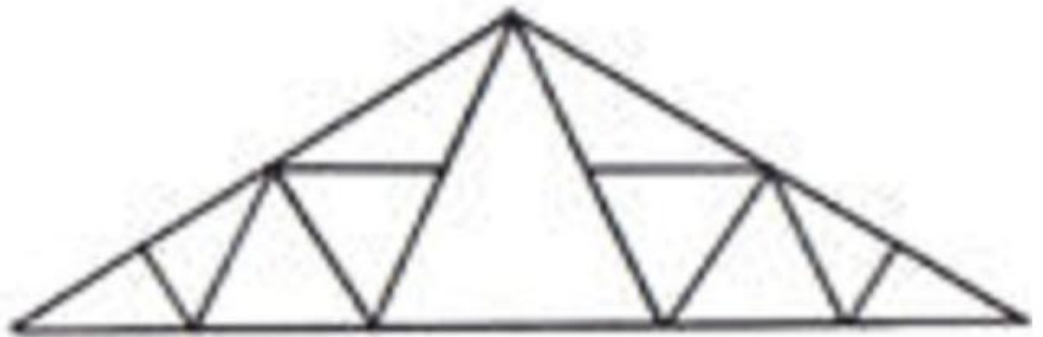
Fuente: www.virtual.unal.edu.co/.../tem01/lec01_4_1.htm

Figura 3: Armadura Pratt



Fuente: www.virtual.unal.edu.co/.../tem01/lec01_4_1.htm

Figura 4: Armadura Fink



Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Armadura_Fink

5. METODOLOGÍA

Los pasos para realizar este estudio serán los siguientes:

5.1. PRIMERA ETAPA

Definir las características de las cubiertas a analizar, que en este caso serán similares a las que fueron analizadas en la tesis ESTIMACION DEL PESO PROPIO DE CUBIERTAS METALICAS CON TEJA LIVIANA A DOS AGUAS PARA DIFERENTES MODULACIONES EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA realizada por Betty Johanna Rodríguez.⁴

Tabla 1. Descripción de las características de las 18 cubiertas.

CUBIERTA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LUZ (m)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PENDIENTE (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SEPARACION ENTRE CORREAS (m)	1.38	1.38	1.38	1.45	1.45	1.45	1.69	1.69	1.69
SEPARACION ENTRE CERCHAS (m)	5	6	7	5	6	7	5	6	7

CUBIERTA N°	10	11	12	13	14	15	16	17	18
LUZ (m)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
PENDIENTE (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SEPARACION ENTRE CORREAS (m)	1.38	1.38	1.38	1.45	1.45	1.45	1.69	1.69	1.69
SEPARACION ENTRE CERCHAS (m)	5	6	7	5	6	7	5	6	7

5.2. SEGUNDA ETAPA

Cuantificación de la base de datos(tabla de cargas) para introducir en la herramienta SAP2000, y así modelar cada una de las cubiertas, para obtener las fuerzas requeridas por cada uno de los elementos que componen las mismas. Se

⁴ Rodríguez B.J. Estimación del peso propio de cubiertas metálicas con teja liviana a dos aguas para diferentes modulaciones en el área metropolitana de Bucaramanga [TESIS].2008

calculará el nuevo valor de peso propio real arrojado por el diseño inmediatamente anterior, se tomará este valor y se cambiará por el peso propio asumido que se tomó para el análisis de la cubierta, este proceso se realizará hasta que la diferencia entre el peso propio real y el peso que se toma para el diseño inmediatamente anterior sea cercano a cero (0)

5.2.1 Geometría de la Cercha

Con el fin de mostrar todo el procedimiento llevado a cabo con cada una de las cubiertas se toma como ejemplo la Cubierta 1.

De acuerdo con las características establecidas, se realiza la geometría de la cercha de la siguiente manera:

La altura de la cercha se obtiene de la siguiente ecuación:

$$h_{total} = \left(m * \left(\left(\frac{l}{2} \right) - a_{canal} \right) \right) + h_{canal}$$

$$h_{total} = \left(0,2 * \left(\left(\frac{20000}{2} \right) - 300 \right) \right) + 400 = 2340mm$$

Donde:

h total = altura de la cercha (2340mm)

m = pendiente de inclinación (20%)

l = longitud de la cercha (20000mm)

a canal = ancho del canal (300 mm)

h canal = altura del canal (400mm)

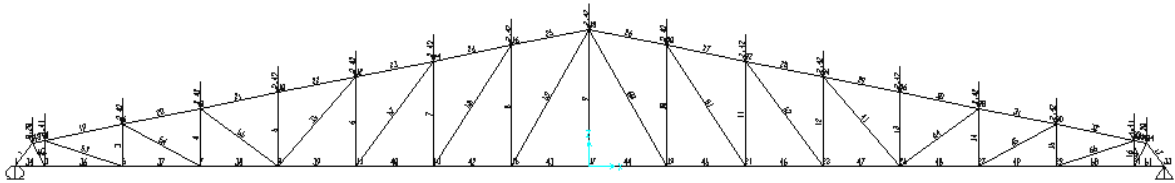
Separación entre correas (1380mm)

Separación entre cerchas (5000mm)

Profundidad de la cubierta (30000mm)

Altura de las columnas (6000mm)

Figura 5: geometría de la cercha



Fuente: Autor del proyecto

5.2.2 Cargas Asignadas a la Estructura

Con las especificaciones que establece la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998, NSR – 98, se determinan las cargas muertas, vivas y de viento.

5.2.2.1 Carga Muerta

En este punto se muestran los valores que se tienen en cuenta en la estimación de la carga muerta, esta se determina en KN/m^2 de acuerdo al numeral B.3.3 Cargas Muertas Mínimas, estas cargas son proporcionadas por los materiales utilizados: tejas de asbesto cemento e instalaciones; se asume el peso propio de cada una de las cubiertas.

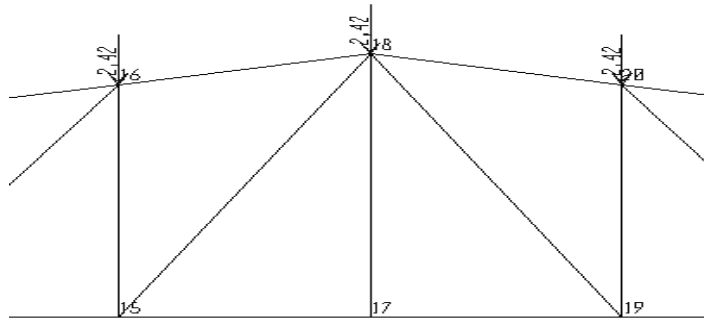
Teja de asbesto cemento	0,18 KN/m^2
Instalaciones	0,05 KN/m^2
Peso propio	<u>0,10 KN/m^2</u>
Total	0,33 KN/m^2

Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga muerta puntual para una cercha intermedia.

$CM = \text{Área aferente} \times \text{Carga muerta}$
 $\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 2$

$$CM = \frac{5\text{m} + 0,21}{2} * 0,33 \text{KN/m}^2 = 0,19 \text{KN}$$

Figura 6: Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga muerta CM.



Fuente: Autor del proyecto

5.2.2.2 Carga Viva

La carga viva que se utiliza en el diseño de las cubiertas se basa en el numeral B.4.2.1 Cargas Vivas Requeridas, NSR – 98, en donde se especifica que para pendientes mayores al 20% se debe utilizar una carga viva de 0,35 KN/m².

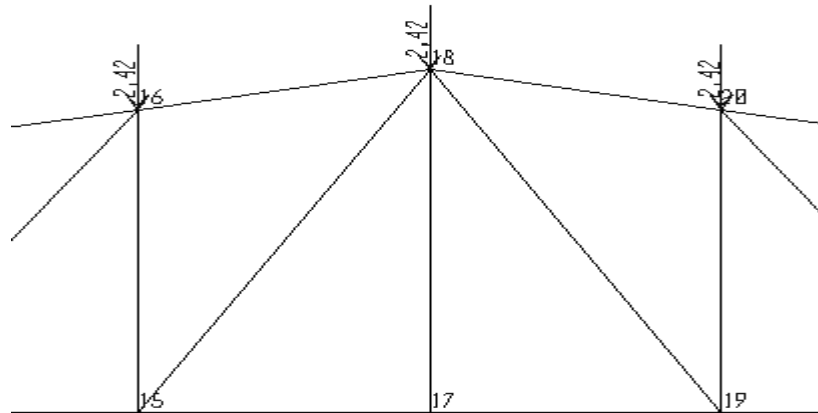
Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga viva puntual para una cercha intermedia.

$$CV = \text{Área aferente} \times \text{Carga viva}$$

$$\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 2$$

$$CM = \frac{5m \cdot 0,21}{2} * 0,35 \text{KN/m}^2 = 0,20 \text{KN}$$

Figura 7: Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga viva CV



Fuente: Autor del proyecto

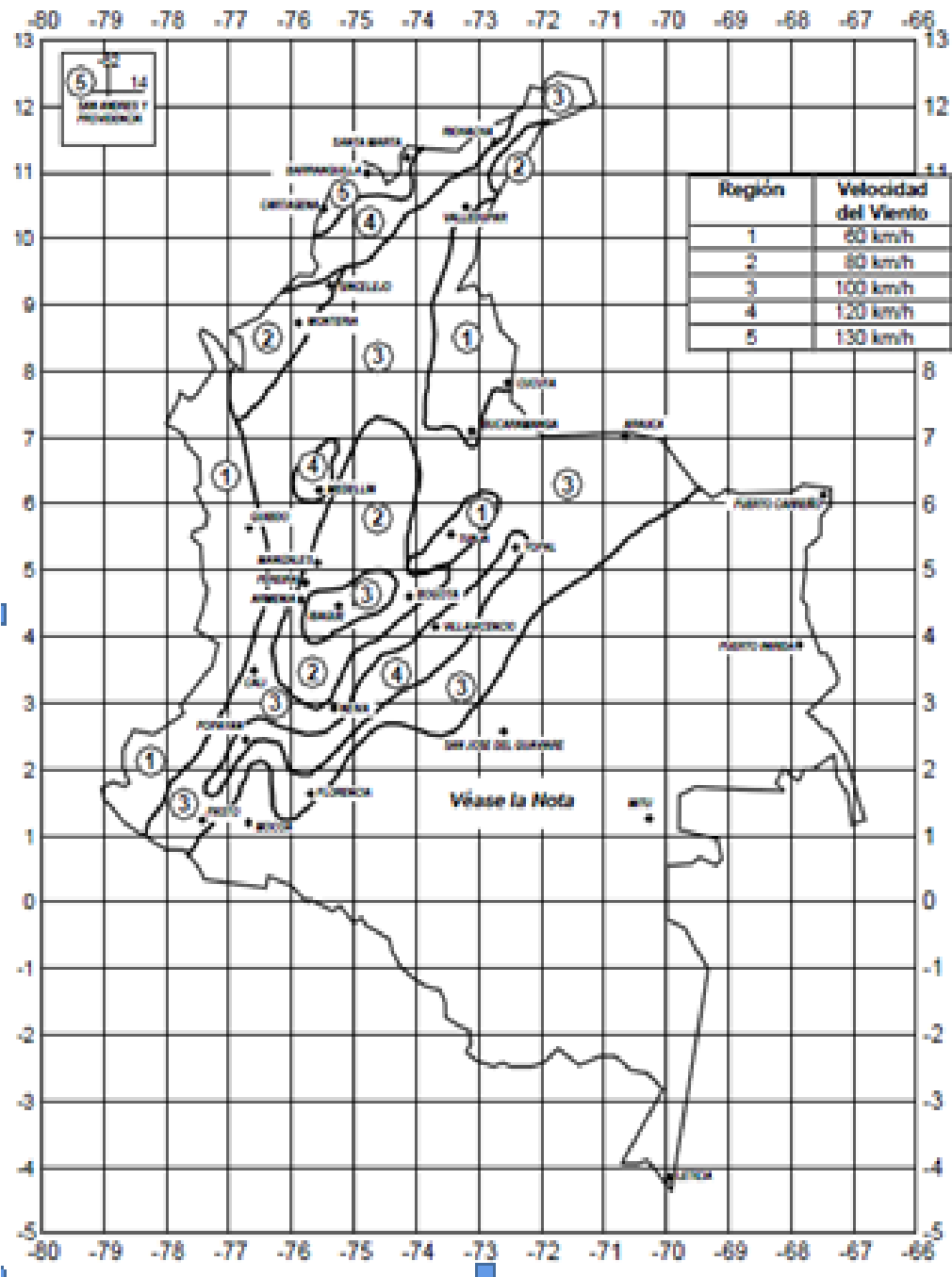
5.2.2.3. Fuerza de viento

Debido que la estructura a diseñar es una cubierta metálica, es de vital importancia tener en cuenta las fuerzas de viento, estas se establecen de acuerdo al capítulo B.6 Fuerzas de Viento, NSR – 98.

La velocidad del viento base **V**, es la velocidad de ráfaga de 3 segundos, que se estima será excedida en promedio una vez cada 50 años, medida a 10 m de altura del terreno y en campo abierto⁵. Esta se determina mediante el mapa de amenaza eólica: velocidad del viento básico, Figura B.6.5.1 que se muestra a continuación. La ubicación de la estructura planteada está en el área metropolitana de Bucaramanga zona 1, por lo que se toma una velocidad de 60 Km/h.

⁵ Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS). *Norma Colombiana Sismo Resistente 1998 (NSR-98)*.Capitulo B.6 Fuerzas de Viento. Pág. 25.

Figura 8: Mapa de amenaza eólica: Velocidad del viento



Fuente: Norma Colombiana de diseño y construcción Sismo resistente de 1998. Figura B.6.5.1

La velocidad del viento básico se ve modificada por los coeficientes S1, S2 y S3, los cuales se refieren a los efectos topográficos; de rugosidad, tamaño del edificio, y altura sobre el terreno, y la vida útil e importancia del proyecto, respectivamente. El coeficiente de topografía, **S1**, se determina de acuerdo con la tabla B.6.5-1 coeficiente de topografía S1, NSR - 98.

S1= 1,0 Todos los casos excepto en (b) y (c). Debido a que la topografía del área metropolitana de Bucaramanga no corresponde a laderas, ni cimas montañosas ni valles encerrados, por lo tanto, se toma el literal (a).

Tabla 2. Coeficiente de topografía S1.

Topografía	Valor de S_1
(a) Todos los casos excepto los dados en (b) y (c).	1.0
(b) Laderas y cimas montañosas muy expuestas en donde se sabe que el viento se acelera, y valles donde debido a su forma se concentra el viento.	1.1
(c) Valles encerrados protegidos de todo viento.	0.9

Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998. Tabla B.6.5-1

La combinación de los siguientes factores se tiene en cuenta en el coeficiente **S2**, coeficiente de rugosidad del terreno, de tamaño del edificio y de altura sobre el nivel del terreno, el cual se obtiene de la tabla B.6.5-2, NSR – 98, a partir de los siguientes parámetros:

Rugosidad del Terreno: La rugosidad del terreno se divide en cuatro categorías, conforme con el terreno del área metropolitana de Bucaramanga, se escoge:
Rugosidad 1: Grandes extensiones de campo abierto, plano o casi plano, sin abrigo, como bordes costeros, aeropuertos, pastizales y labrantíos sin cercas de arbustos o de piedra.

Revestimiento y tamaño del edificio a partir de las características de la estructura se selecciona:

Clase B: Todos los edificios y estructuras cuya máxima dimensión vertical u horizontal no llega a 50 m.

Altura sobre el terreno en metros: 8,34 m

S2= 0,90

Tabla 3. Coeficiente de rugosidad, tamaño del edificio y altura sobre el terreno, S2

	<i>Rugosidad 1</i>			<i>Rugosidad 2</i>			<i>Rugosidad 3</i>			<i>Rugosidad 4</i>		
H (m)	CAMPOS ABIERTOS SIN OBSTRUCCIONES			CAMPOS ABIERTOS CON VALLAS			CAMPOS CON MUCHAS VALLAS, PUEBLOS O AFUERAS DE CIUDADES			ZONAS CON GRANDES Y FRECUENTES OBSTRUCCIONES COMO CENTROS DE CIUDAD		
	CLASE			CLASE			CLASE			CLASE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	0.83	0.78	0.73	0.72	0.67	0.63	0.64	0.60	0.55	0.56	0.52	0.47
5	0.88	0.83	0.78	0.79	0.74	0.70	0.70	0.65	0.60	0.60	0.55	0.50
10	1.00	0.93	0.90	0.95	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.67	0.62	0.58
15	1.03	0.99	0.94	1.00	0.95	0.91	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.64
20	1.06	1.01	0.96	1.03	0.98	0.94	0.95	0.90	0.85	0.79	0.75	0.70
30	1.08	1.05	1.00	1.07	1.03	0.98	1.01	0.97	0.92	0.90	0.85	0.79
40	1.12	1.08	1.03	1.10	1.06	1.01	1.05	1.01	0.96	0.97	0.93	0.89
50	1.14	1.10	1.06	1.12	1.08	1.04	1.08	1.04	1.00	1.02	0.98	0.94
60	1.15	1.12	1.08	1.14	1.10	1.04	1.10	1.06	1.02	1.05	1.02	0.98
80	1.18	1.15	1.11	1.17	1.13	1.09	1.13	1.10	1.06	1.10	1.07	1.03
100	1.20	1.17	1.13	1.19	1.16	1.12	1.16	1.12	1.09	1.13	1.10	1.07
120	1.22	1.19	1.15	1.21	1.18	1.14	1.18	1.15	1.11	1.15	1.13	1.10
140	1.24	1.20	1.17	1.22	1.19	1.16	1.20	1.17	1.13	1.17	1.15	1.12
160	1.25	1.22	1.19	1.24	1.21	1.18	1.21	1.18	1.15	1.19	1.17	1.14
180	1.26	1.23	1.20	1.25	1.22	1.19	1.23	1.20	1.17	1.20	1.19	1.16
200	1.27	1.24	1.21	1.26	1.24	1.21	1.24	1.21	1.18	1.22	1.21	1.18

Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998. Tabla B.6.5-2

El coeficiente **S3**, tiene en cuenta el grado de seguridad y de vida útil de la estructura. Según los grupos de uso del numeral A.2.5.1, NSR – 98, se determina el grupo de uso I: para todas las edificaciones y estructuras de ocupación normal, luego:

$$S3 = 1,00$$

Con los valores V, S1, S2, S3 se halla la velocidad del viento de diseño **Vs**.

$$Vs = V * S1 * S2 * S3$$

$$Vs = 60 * 1.0 * 0.9 * 1.0$$

$$Vs = 54 \text{ Km/h}$$

De acuerdo a la tabla B.6.6 de la NSR -98, se halla el coeficiente que considera la variación de la densidad del aire con la altura sobre el nivel del mar **S₄**, el área metropolitana de Bucaramanga está a 1000 m sobre el nivel del mar aproximadamente, entonces.

S₄ = 0.88

Tabla 4. Coeficiente S₄

ALTITUD	
(m)	S ₄
0	1.00
500	0.94
1000	0.88
1500	0.83
2000	0.78
2500	0.73
3000	0.69

Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998. Tabla B.6.6

La presión dinámica del viento **q**, se halla a partir de la velocidad de diseño **V_s** y el coeficiente **S₄**.

$$q = 0.000048 * V_s^2 * S_4$$

$$q = 0.000048 * 54^2 * 0.88$$

$$q = 0,123 \text{ KN/m}^2$$

De acuerdo a la tabla B.6.7-2, NSR – 98, se determinan los coeficientes de presión **C_{pe}** para cubiertas a dos aguas de edificios rectangulares revestidos, a partir de los valores de h/w y el ángulo de la cubierta.

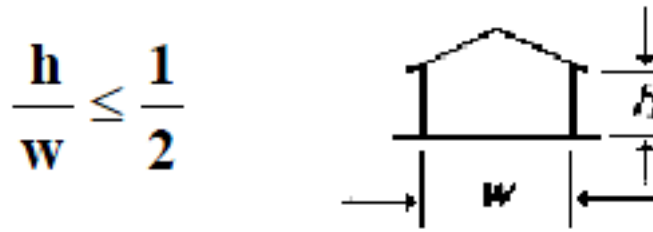
$$h / w = 6m / 20m = 0.30 \quad \text{Caso 1}$$

Donde:

h = altura hasta el alero o antepecho.

w = menor dimensión horizontal del edificio.

Figura 9. Relación de dimensiones en alzada. Caso 1.



Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998.
Tabla B.6.7-2

Conforme a lo establecido en la tabla B.6.7-2 de la NSR – 98, se estiman los valores de efectos locales que afectan la cubierta.

Tabla 5. Coeficientes de presión Cpe para cubiertas a dos aguas de edificios rectangulares revestidos.

Relación de dimensiones en alzada	Angulo de cubierta (grados)	Angulo de viento $\alpha = 0^\circ$		Angulo de viento $\alpha = 90^\circ$		Coeficientes locales			
		EF	GH	EG	FH				
$\frac{h}{w} \leq \frac{1}{2}$ 	0	-0.8	-0.4	-0.8	-0.4	-2.0	-2.0	-2.0	-
	5	-0.9	-0.4	-0.8	-0.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1.0
	10	-1.2	-0.4	-0.8	-0.6	-1.4	-1.4	-	-1.2
	20	-0.4	-0.4	-0.7	-0.6	-1.0	-	-	-1.2
	30	0	-0.4	-0.7	-0.6	-0.8	-	-	-1.1
	45	+0.3	-0.5	-0.7	-0.6	-	-	-	-1.1
	60	+0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-	-	-	-1.1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} \leq \frac{3}{2}$ 	0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.6	-2.0	-2.0	-2.0	-
	5	-0.9	-0.6	-0.9	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.0
	10	-1.1	-0.6	-0.8	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.2
	20	-0.7	-0.5	-0.8	-0.6	-1.5	-1.5	-1.5	-1.0
	30	-0.2	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0	-	-	-1.0
	45	+0.2	-0.5	-0.8	-0.6	-	-	-	-
	60	+0.6	-0.5	-0.8	-0.6	-	-	-	-
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$ 	0	-0.7	-0.6	-0.9	-0.7	-2.0	-2.0	-2.0	-
	5	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.0
	10	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.2
	20	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-1.5	-1.5	-1.5	-1.2
	30	-1.0	-0.5	-0.8	-0.7	-1.5	-	-	-
	40	-0.2	-0.5	-0.8	-0.7	-1.0	-	-	-
	60	+0.2	-0.5	-0.8	-0.7	-	-	-	-

Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998. Tabla B.6.7-2

Para una pendiente de cubierta = 11.31° , se tiene:

Ángulo de viento = 0°

EF = -1.095

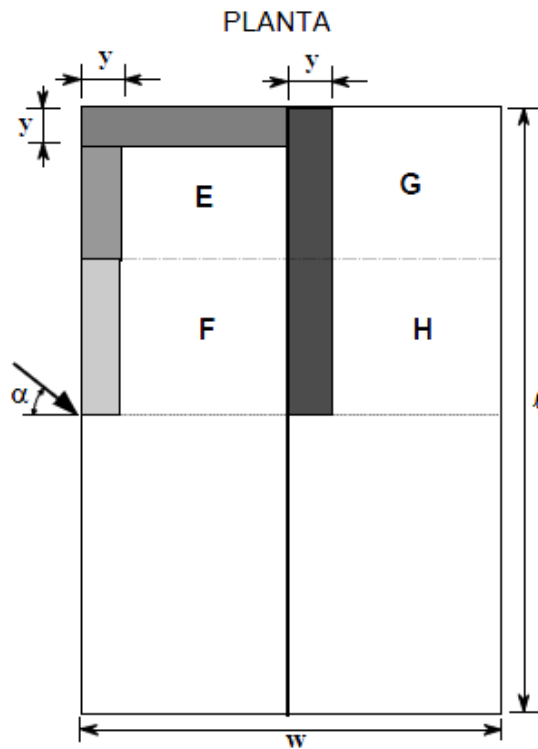
GH = -0.40

Ángulo de viento = 90°

EG = -0.787

FH = -0.60

Figura 10. Coeficientes locales.



$y = h$ o $0.15w$
el que sea menor

Fuente: Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998. Tabla B.6.7-2

Si se tiene que:

$h = 6m$

$0.15w = 0.15 \cdot 20m = 3m$

Luego, el menor = 3m

Entonces, los coeficientes locales son:

$$\begin{aligned} &= -1.348 \\ &= 0.000 \\ &= 0.000 \\ &= -1.200 \end{aligned}$$

De acuerdo al numeral B.6.9, NSR – 98, se determina el coeficiente de presión interna C_{pi} .

$C_{pi} = 0.00$ Debido a que la estructura se considera con cerramiento perimetral, no hay corriente de aire.

Ángulo de viento = 0° :

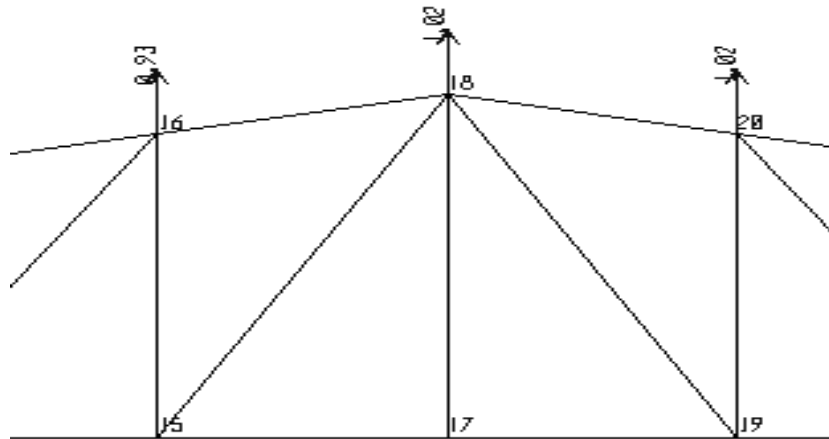
En barlovento: $P = (EF - C_{pi}) * q$
 $P = (1.095 - 0.00) * 0.123 = -0.135 \text{ KN/m}^2$

Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga de viento CW1 para una cercha intermedia.

$CW1 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento} \alpha 0^\circ$ en barlovento
 Área aferente = Separación cerchas x Separación entre correas / 2

$$CW1 = \frac{5m * 0,21m}{2} * -0,135KN/m^2 = -0,08KN$$

Figura 11. Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga de viento CW1.



Fuente: Autor del proyecto

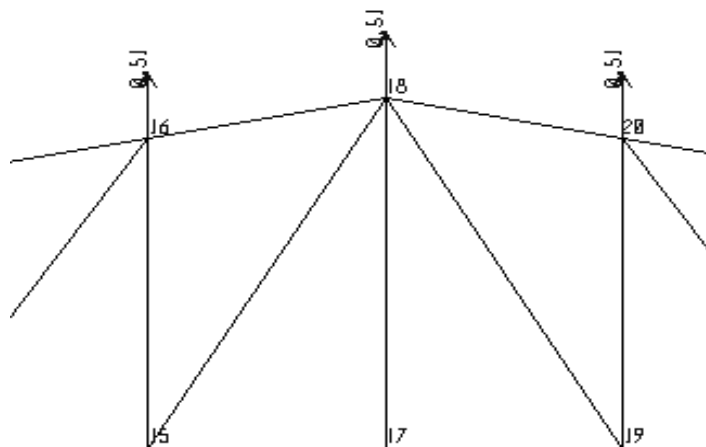
En sotavento: $P = (GH - C_{pi}) * q$
 $P = (-0.4 - 0.00) * 0.123 = -0.049 \text{ KN/m}^2$

Se toma como ejemplo el nodo 29 para la asignación de la carga de viento CW1 para una cercha intermedia en donde ya no existe turbulencia en el caballete.

$CW1 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento} \quad \alpha = 0^\circ \text{ en sotavento}$
 $\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 2$

$$CW1 = \frac{5m \times 1,38m}{2} * -0,049 \text{KN/m}^2 = -0,34 \text{KN}$$

Figura 12. Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga de viento CW1.



Fuente: Autor del proyecto

Ángulo de viento a 90°:

En cercha de borde $P = \square(EG-Cpi)*q$

$$P = \square(\square 0.787 - \square \square 0.00)*0.123 = -0.097 \text{ KN/m}^2$$

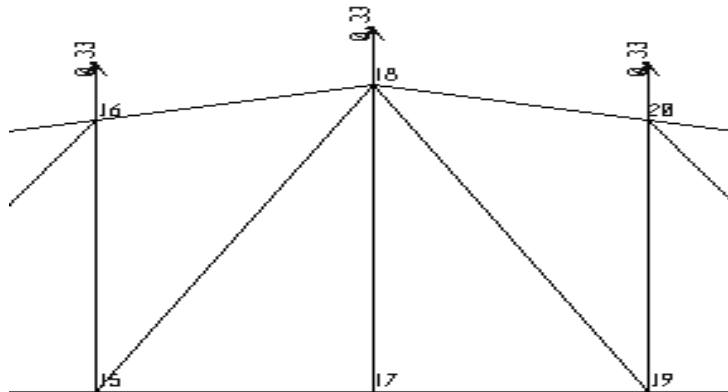
Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga de viento CW3 para una cercha de borde.

$CW3 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento en la cercha de borde}$

$\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 4$

$$CW3 = \frac{5m * 0.21m}{4} * -0.097 \text{ KN/M}^2 = -0.03 \text{ KN}$$

Figura 13. Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga de viento CW3.



Fuente: Autor del proyecto

En cercha intermedia:

$$P = (FH-Cpi)*q$$

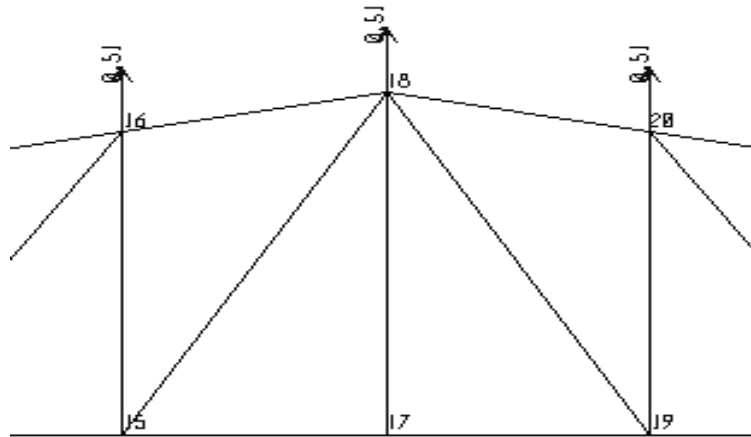
$$P = (\square 0.60 - \square \square 0.00)*0.123 = -0.074 \text{ KN/m}^2$$

Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga de viento CW2.

$CW2 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento en la cercha intermedia}$
 $\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 2$

$$CW2 = \frac{5m \times 0.21m}{2} * -0.074KN/M2 = -0.04KN$$

Figura 14. Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga de viento CW2.



Fuente: Autor del proyecto

Coeficientes locales

$$P = (1.348 - C_{pi}) * q$$

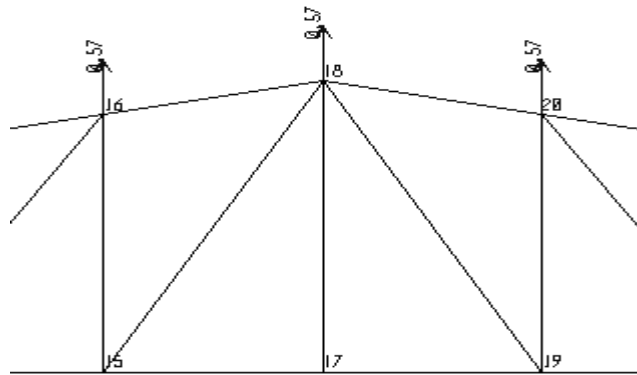
$$P = (1.348 - 0.00) * 0.123 = -0.166 \text{ KN/m}^2$$

Se toma como ejemplo el nodo 18 para la asignación de la carga de viento CW4 para una cercha de borde.

$CW4 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento } 1$
 $\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 4$

$$CW2 = \frac{5m * 0.21m}{4} * -0.166KN/M2 = -0.05$$

Figura 15. Carga puntual en el nodo 18 debida a la carga de viento CW4.



Fuente: Autor del proyecto

$$P = (1.200 - C_{pi}) * q$$

$$P = (1.200 - 0.00) * 0.123 = -0.148 \text{ KN/m}^2$$

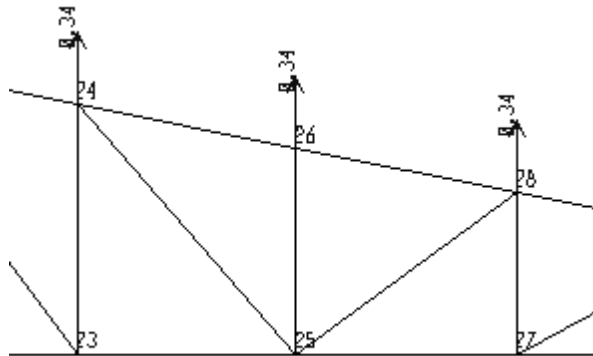
Se toma como ejemplo el nodo 26 para la asignación de la carga de viento CW1 para una cercha intermedia en donde existe turbulencia en el caballete.

$CW1 = \text{Área aferente} \times \text{Carga de viento } 1$

$\text{Área aferente} = \text{Separación cerchas} \times \text{Separación entre correas} / 2$

$$CW2 = \frac{5m * 1.38m}{2} * -0.148KN/M2 = -1.02$$

Figura 16. Carga puntual en el nodo 26 debida a la carga de viento CW1.



Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente tabla se muestran los valores de las cargas muertas, vivas, y de viento para la cercha intermedia y de borde.

Tabla 6. Cargas asignadas a la estructura

NODO	AREA AFERENT E (m ²)			CERCHA INTERMEDIA		CERCHA DE BORDE	
		CM KN	CY KN	CW ₁ (KN) 0°	CW ₂ (KN) 90°	CW ₃ (KN) 90°	CW ₄ (KN) 90°
18	0,58	0,20	0,20	-0,08	-0,04	-0,03	-0,05
19	4,03	1,37	1,41	-0,54	-0,30	-0,20	-0,33
20	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
21	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
22	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
23	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
24	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
25	6,90	2,35	2,42	-0,93	-0,51	-0,33	-0,57
26	6,90	2,35	2,42	-1,02	-0,51	-0,33	-0,57
27	6,90	2,35	2,42	-1,02	-0,51	-0,33	-0,57
28	6,90	2,35	2,42	-1,02	-0,51	-0,33	-0,57
29	6,90	2,35	2,42	-0,34	-0,51	-0,33	-0,57
30	6,90	2,35	2,42	-0,34	-0,51	-0,33	-0,57
31	6,90	2,35	2,42	-0,34	-0,51	-0,33	-0,57
32	6,90	2,35	2,42	-0,34	-0,51	-0,33	-0,57
33	4,03	1,37	1,41	-0,20	-0,30	-0,20	-0,33
34	0,58	0,20	0,20	-0,03	-0,04	-0,03	-0,05

Fuente: Autor del proyecto

5.2.3 Modelo en SAP 2000 V 14.0 ©

Se toma como ejemplo el modelamiento de la cubierta 1.

Después de tener la geometría de las cerchas, las cargas muertas, vivas y de viento se procede a modelar las 18 cerchas por medio del software SAP 2000 V 14.0 ©, licencia privada de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Como primera medida se procede a la asignación de las coordenadas de cada nodo y la numeración de los elementos para realizar el montaje de la cercha.

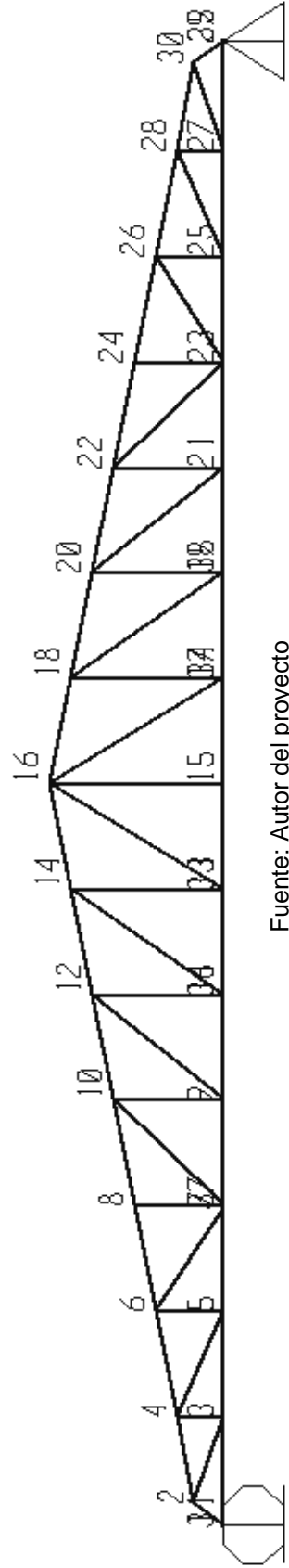
Tabla 7. Coordenadas de los nodos.

COORDENADAS DEL CORDON INFERIOR (m)																			
X	0	0,30	0,53	1,88	3,23	4,59	5,94	7,29	8,65	10,00	11,35	12,71	14,06	15,41	16,77	18,12	19,47	19,70	20,00
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COORDENADAS DEL CORDON SUPERIOR (m)																			
X	0	0,30	0,53	1,88	3,23	4,59	5,94	7,29	8,65	10,00	11,35	12,71	14,06	15,41	16,77	18,12	19,47	19,70	20,00
Y	0	0,40	0,45	0,72	0,99	1,26	1,53	1,80	2,07	2,34	2,07	1,80	1,53	1,26	0,99	0,72	0,45	0,40	0,00

Fuente: Autor del proyecto

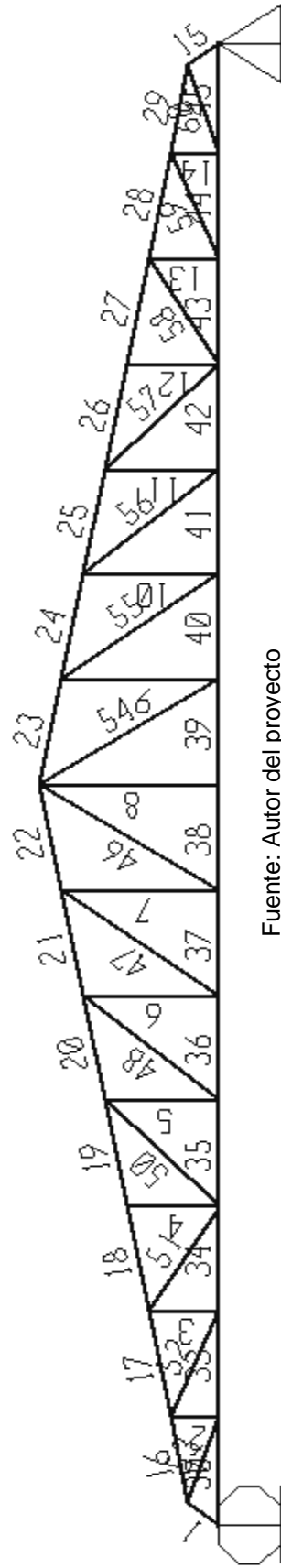
Se define el material como acero A-36 y como sección perfiles de doble ángulo conformados espalda con espalda. Luego se dibujan los elementos de la cercha, teniendo en cuenta que las diagonales y los montantes se articulan en ambos extremos para que no se tenga en cuenta los momentos M2 y M3, es decir, no hay restricción al momento alrededor de los ejes locales 2 y 3 de estos elementos. El cordón inferior y superior no se articula, debido a que estos se arman y se fabrican en forma continua por economía, tiempo y estética.

Figura 17. Numeración de los nodos de la cercha.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 18. Numeración de los elementos de la cercha.



Fuente: Autor del proyecto

5.2.3.1 Casos de Carga

Posteriormente, se procede a definir los casos de carga, los cuales son:

CM Carga muerta

CV Carga viva

CW1 Carga de viento 1, se refiere cuando el viento llega a la cubierta en un ángulo de 0° según la NSR-98. (Cercha intermedia)

CW2 Carga de viento 2, se refiere cuando el viento llega a la cubierta en un ángulo de 90° según la NSR-98. (Cercha intermedia)

CW3 Carga de viento 3, se refiere cuando el viento llega a la cubierta en un ángulo de 90° según la NSR-98. (Cercha de borde)

CW4 Carga de viento 4, se refiere cuando el viento (Efecto local) llega a la cubierta en un ángulo de 90° según la NSR-98. (Cercha de borde)

La asignación de estas cargas se muestra a continuación de la figura 19 a la figura 24.

5.2.3.2 Combinaciones de Carga

De acuerdo con el numeral B.2.5.2 Combinaciones Básicas, NSR – 98, se establecen las combinaciones de carga para estructuras de acero. A continuación se relacionan las combinaciones de carga que se derivaron de los casos de carga analizados.

1.4 D

1.2 D + 0.5 Lr

1.2 D + 1.6 Lr

1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 W1

1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 W2

0.6 D + 0.8 Lr + 0.8 W3

0.6 D + 0.8 Lr + 0.8 W4

1.2 D + 1.3 W1 + 0.5 Lr

1.2 D + 1.3 W2 + 0.5 Lr

0.6 D + 1.3 W3 + 0.25 Lr

0.6 D + 1.3 W3 + 0.25 Lr

0.9 D – 1.3 W1

0.9 D – 1.3 W2

0.45 D – 1.3 W3
0.45 D – 1.3 W4
ENVOLVENTE

Donde:

D: Carga Muerta

Lr: Carga Viva de cubierta

W: Carga de viento

Figura 19: Cargas puntuales debido a la carga muerta CM

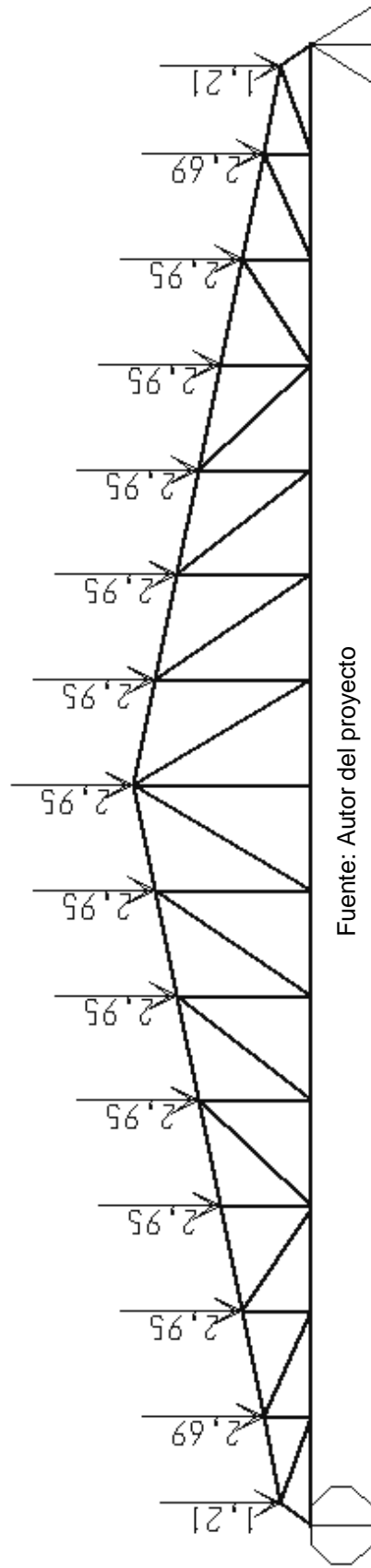


Figura 20: Cargas puntuales debido a la carga viva CV

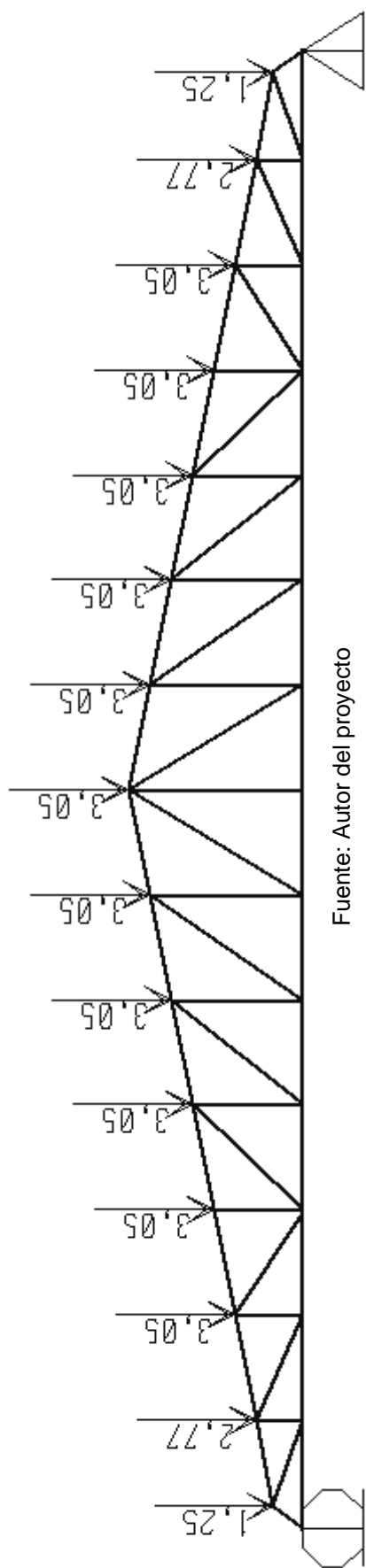


Figura 21: Cargas puntuales debido a la carga de viento CW!

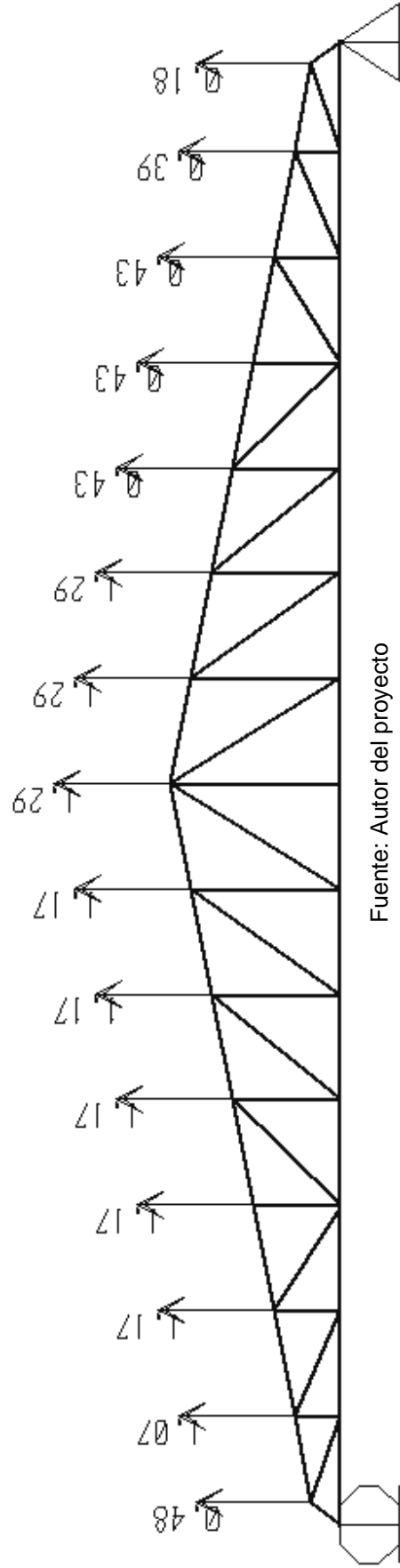


Figura 22: Cargas Puntuales debido a la carga de viento CW2

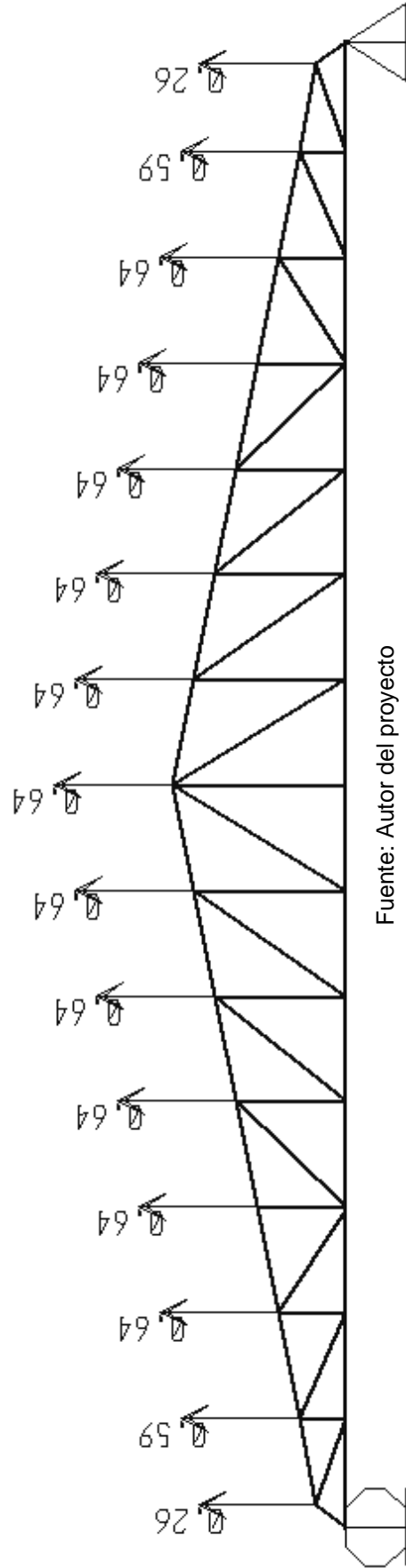


Figura 23: Cargas puntuales debido a la carga de viento CW3

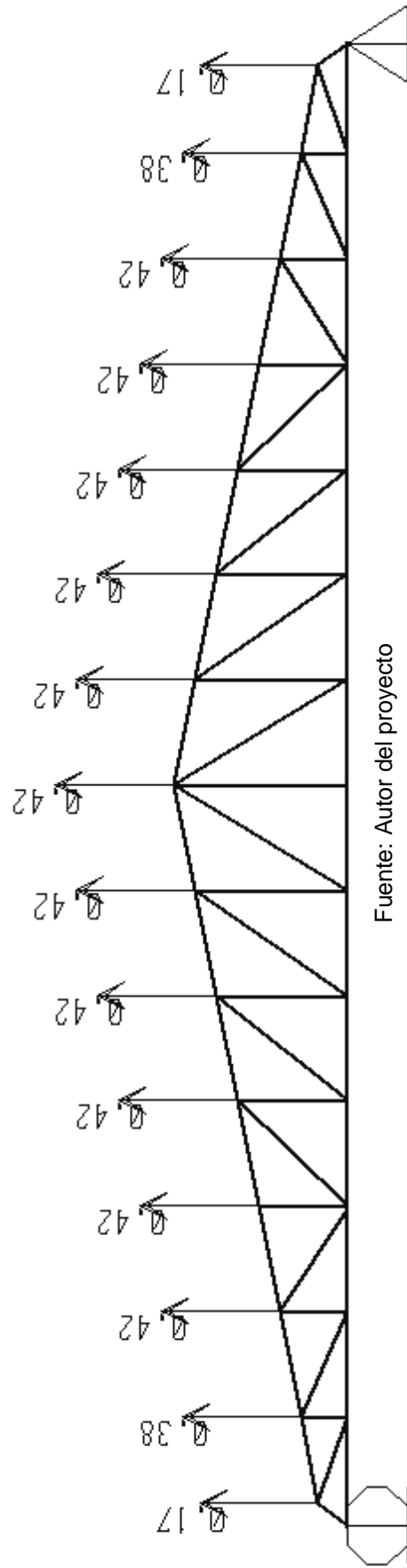
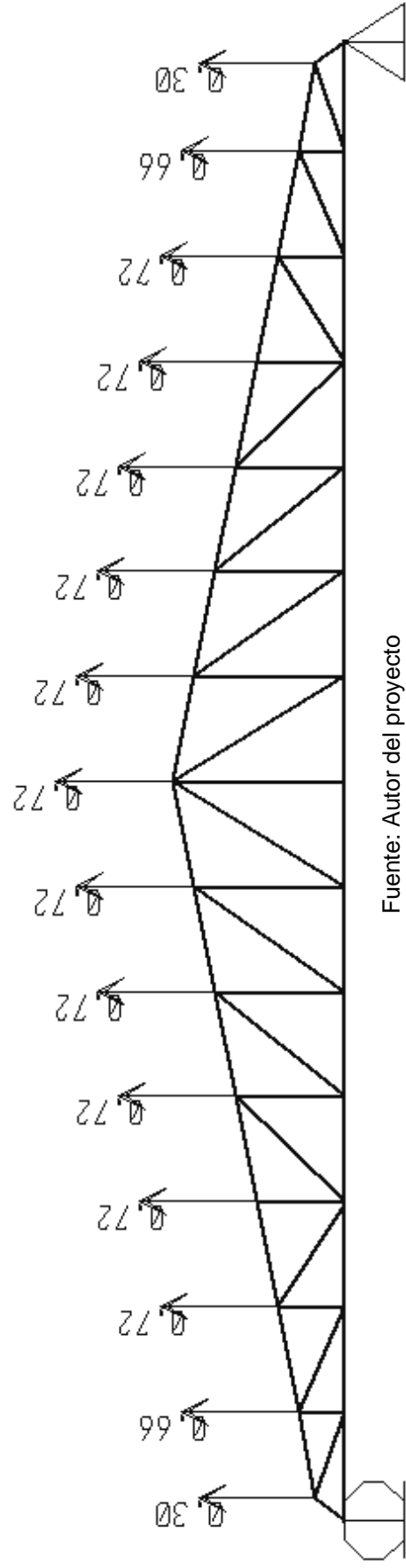


Figura 24: Cargas puntuales debido a la carga de Viento CW4



5.2.3.3 DATOS DE ENTRADA

Se toman como ejemplo los datos de entrada de la cubierta 1.

Tabla 8. Definición de combinaciones

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor	SteelDesign
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless	Yes/No
COMB1	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,4	No
COMB2	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB2			Linear Static	VIVA	0,5	
COMB3	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB3			Linear Static	VIVA	1,6	
COMB4	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB4			Linear Static	VIVA	1,6	
COMB4			Linear Static	W1	0,8	
COMB5	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB5			Linear Static	VIVA	1,6	
COMB5			Linear Static	W2	0,8	
COMB6	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,6	No
COMB6			Linear Static	VIVA	0,8	
COMB6			Linear Static	W3	0,8	
COMB7	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,6	No
COMB7			Linear Static	VIVA	0,8	
COMB7			Linear Static	W4	0,8	
COMB8	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB8			Linear Static	W1	1,3	
COMB8			Linear Static	VIVA	0,5	
COMB9	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1,2	No
COMB9			Linear Static	W2	1,3	
COMB9			Linear Static	VIVA	0,5	
COMB10	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,6	No
COMB10			Linear Static	W3	1,3	
COMB10			Linear Static	VIVA	0,25	
COMB11	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,6	No
COMB11			Linear Static	W4	1,3	
COMB11			Linear Static	VIVA	0,25	
COMB12	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,9	No

Fuente: Autor del proyecto

Continuación tabla 8. Definición de combinaciones

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor	SteelDesign
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless	Yes/No
COMB12			Linear Static	W1	-1,3	
COMB13	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,9	No
COMB13			Linear Static	W2	-1,3	
COMB14	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,45	No
COMB14			Linear Static	W3	-1,3	
COMB15	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0,45	No
COMB15			Linear Static	W4	-1,3	
COMB16	Envelope	No	Response Combo	COMB1	1	No
COMB16			Response Combo	COMB2	1	
COMB16			Response Combo	COMB3	1	
COMB16			Response Combo	COMB4	1	
COMB16			Response Combo	COMB5	1	
COMB16			Response Combo	COMB6	1	
COMB16			Response Combo	COMB7	1	
COMB16			Response Combo	COMB8	1	
COMB16			Response Combo	COMB9	1	
COMB16			Response Combo	COMB10	1	
COMB16			Response Combo	COMB11	1	
COMB16			Response Combo	COMB12	1	
COMB16			Response Combo	COMB13	1	
COMB16			Response Combo	COMB14	1	
COMB16			Response Combo	COMB15	1	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 9. Sistema de coordenadas

Name	Type	X	Y	Z	AboutZ	AboutY	AboutX
Text	Text	m	m	m	Degrees	Degrees	Degrees
GLOBAL	Cartesian	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 10. Propiedades de las secciones

SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw
Text	Text	Text	M	m	m	m
2L2X2X1/4	A36	Double Angle	0,0508	0,1016	0,00635	0,00635
FSEC1	A992Fy50	I/Wide Flange	0,3048	0,127	0,009652	0,00635

SectionName	t2b	tfb	Dis	Area	TorsConst	I33
Text	m	m	M	m ²	m ⁴	m ⁴
2L2X2X1/4			0	0,001219	1,73E-08	2,876E-07
FSEC1	0,127	0,009652		0,004265	9,65E-08	0,000066

SectionName	I22	AS2	AS3	S33	S22	Z33
Text	m ⁴	m ²	m ²	m ³	m ³	m ³
2L2X2X1/4	4,18E-07	0,000645	0,000645	8,01E-06	8,23E-06	0,000014
FSEC1	3,3E-06	0,001935	0,002043	0,000431	0,000052	0,000491

SectionName	Z22	R33	R22	ConcCol	ConcBeam	Color
Text	m ³	m	M	Yes/No	Yes/No	Text
2L2X2X1/4	0,000018	0,015358	0,018519	No	No	Yellow
FSEC1	0,000081	0,124145	0,027823	No	No	White

SectionName	TotalWt	TotalMass	FromFile	AMod	A2Mod	A3Mod
Text	KN	KN-s ² /m	Yes/No	Unitless	Unitless	Unitless
2L2X2X1/4	8,198	0,84	Yes	1	1	1
FSEC1	0	0	No	1	1	1

Fuente: Autor del proyecto

Continuación tabla 10. Propiedades de las secciones

SectionName	JMod	I2Mod	I3Mod	MMod	WMod	SectInFile
Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Text
2L2X2X1/4	1	1	1	1	1	2L2X2X1/4
FSEC1	1	1	1	1	1	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 11. Definición de las cargas

LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
Text	Text	Unitless	Text
MUERTA	DEAD	0	
VIVA	LIVE	0	
W1	WIND	0	None
W2	WIND	0	None
W3	WIND	0	None
W4	WIND	0	None

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 12. Propiedades del material

Material	Type	SymType	TempDepend	Color	GUID	Notes
Text	Text	Text	Yes/No	Text	Text	Text
A36	Steel	Isotropic	No	Blue		ASTM A36 added 01/03/2010 07:25:32 a.m.

Material	UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12	A1
Text	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2	Unitless	1/C
A36	76,973	7,849	199947978,8	76903068,77	0,3	0,0000117

Material	Fy	Fu	EffFy	EffFu	SSCurveOpt	SSHysType	SHard	SMax
Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Text	Text	Unitless	Unitless
A36	248211,28	399895,96	372316,93	439885,55	Simple	Kinematic	0,02	0,14

Fuente: Autor del proyecto

5.2.3.4 DATOS DE SALIDA

Se toman como ejemplo los datos de salida de la cubierta 1.

Tabla 13. Fuerzas máximas y mínimas en los elementos.

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P
Text	m	Text	Text	Text	KN
1	0,5	COB16	Combination	Max	-19,59
1	0	COB16	Combination	Min	-7,1799
2	0,69	COB16	Combination	Max	-5,448
2	0	COB16	Combination	Min	-29,755
3	0,915	COB16	Combination	Max	-2,755
3	0	COB16	Combination	Min	-14,558
4	1,2	COB16	Combination	Max	-1,587
4	0	COB16	Combination	Min	-8,886
5	1,485	COB16	Combination	Max	-2,195
5	0	COB16	Combination	Min	-11,595
6	1,77	COB16	Combination	Max	-9,428
6	0	COB16	Combination	Min	-19,108
7	2,055	COB16	Combination	Max	-4,495
7	0	COB16	Combination	Min	-29,747
8	2,34	COB16	Combination	Max	0,291
8	0	COB16	Combination	Min	0,044
9	2,055	COB16	Combination	Max	-4,494
9	0	COB16	Combination	Min	-29,742
10	1,77	COB16	Combination	Max	-9,422
10	0	COB16	Combination	Min	-19,078
11	1,485	COB16	Combination	Max	-2,206
11	0	COB16	Combination	Min	-11,656
12	1,2	COB16	Combination	Max	-1,692
12	0	COB16	Combination	Min	-8,622
13	0,915	COB16	Combination	Max	-2,716
13	0	COB16	Combination	Min	-14,951
14	0,69	COB16	Combination	Max	-5,448
14	0	COB16	Combination	Min	-29,789
15	0,5	COB16	Combination	Max	-19,592
15	0	COB16	Combination	Min	-7,18
16	1,19299	COB16	Combination	Max	-24,497
16	0	COB16	Combination	Min	-129,411
17	1,45812	COB16	Combination	Max	-30,849
17	0	COB16	Combination	Min	-162,968

Fuente: Autor del proyecto

Continuación tabla 13. Fuerzas máximas y mínimas en los elementos

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P
Text	m	Text	Text	Text	KN
18	1.44892	COMB16	Combination	Max	-92.167
18	0	COMB16	Combination	Min	-169.933
19	1.44892	COMB16	Combination	Max	-92.166
19	0	COMB16	Combination	Min	-169.928
20	1.44892	COMB16	Combination	Max	-91.441
20	0	COMB16	Combination	Min	-166.099
21	1.44892	COMB16	Combination	Max	-29.655
21	0	COMB16	Combination	Min	-156.665
22	1.44892	COMB16	Combination	Max	-27.223
22	0	COMB16	Combination	Min	-149.815
23	1.44892	COMB16	Combination	Max	-27.221
23	0	COMB16	Combination	Min	-149.808
24	1.44892	COMB16	Combination	Max	-29.659
24	0	COMB16	Combination	Min	-156.655
25	1.44892	COMB16	Combination	Max	-91.439
25	0	COMB16	Combination	Min	-166.099
26	1.44892	COMB16	Combination	Max	-92.172
26	0	COMB16	Combination	Min	-169.962
27	1.45812	COMB16	Combination	Max	-92.164
27	0	COMB16	Combination	Min	-169.921
28	1.44892	COMB16	Combination	Max	-90.769
28	0	COMB16	Combination	Min	-162.55
29	1.19239	COMB16	Combination	Max	-24.498
29	0	COMB16	Combination	Min	-129.418
30	1.48	COMB16	Combination	Max	0
30	0	COMB16	Combination	Min	8.219
33	1.48	COMB16	Combination	Max	126.937
33	0	COMB16	Combination	Min	24.029
34	1.42	COMB16	Combination	Max	166.609
34	0	COMB16	Combination	Min	90.256
35	1.42	COMB16	Combination	Max	162.859
35	0	COMB16	Combination	Min	90.826
36	1.42	COMB16	Combination	Max	141.019
36	0	COMB16	Combination	Min	29.075
37	1.41	COMB16	Combination	Max	141.019
37	0	COMB16	Combination	Min	26.693
38	1.48	COMB16	Combination	Max	126.41
38	0	COMB16	Combination	Min	29.928
39	1.48	COMB16	Combination	Max	126.41
39	0	COMB16	Combination	Min	29.928

Fuente: Autor del proyecto

Continuación tabla 13. Fuerzas máximas y mínimas en los elementos

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P
Text	m	Text	Text	Text	KN
42	1,42	COMB16	Combination	Max	162,814
42	0	COMB16	Combination	Min	30,819
43	1,48	COMB16	Combination	Max	159,385
43	0	COMB16	Combination	Min	30,17
44	1,42	COMB16	Combination	Max	126,944
44	0	COMB16	Combination	Min	24,08
45	1,48	COMB16	Combination	Max	0
45	0	COMB16	Combination	Min	8,215
46	2,74235	COMB16	Combination	Max	28,016
46	0	COMB16	Combination	Min	5,308
47	2,50991	COMB16	Combination	Max	21,924
47	0	COMB16	Combination	Min	4,15
48	2,26921	COMB16	Combination	Max	14,788
48	0	COMB16	Combination	Min	2,799
50	2,05466	COMB16	Combination	Max	5,495
50	0	COMB16	Combination	Min	1,029
51	1,65579	COMB16	Combination	Max	8,124
51	0	COMB16	Combination	Min	1,588
52	1,56269	COMB16	Combination	Max	35,959
52	0	COMB16	Combination	Min	6,805
53	1,23648	COMB16	Combination	Max	88,297
53	0	COMB16	Combination	Min	16,714
54	2,74235	COMB16	Combination	Max	28,008
54	0	COMB16	Combination	Min	5,301
55	2,50991	COMB16	Combination	Max	21,918
55	0	COMB16	Combination	Min	4,149
56	2,26921	COMB16	Combination	Max	14,74
56	0	COMB16	Combination	Min	2,79
57	2,05466	COMB16	Combination	Max	6,111
57	0	COMB16	Combination	Min	0,819
58	1,69768	COMB16	Combination	Max	8,616
58	0	COMB16	Combination	Min	1,691
59	1,55848	COMB16	Combination	Max	35,491
59	0	COMB16	Combination	Min	6,718
60	1,23648	COMB16	Combination	Max	88,294
60	0	COMB16	Combination	Min	16,714

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 14. Características de las cubiertas.

CUBIERTA N°	PENDIENTE (%)	LUZ (m)	SEPARACIÓN CERCHAS (m)	SEPARACIÓN CORREAS (m)	ALTURA DE COLUMNAS (m)	DIAGONALES Y CORDON INFERIOR	MONTANTES Y CORDON SUPERIOR
01	20	20	5.0	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
02	20	20	6.0	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
03	20	20	7.5	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
04	20	20	5.0	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
05	20	20	6.0	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
06	20	20	7.5	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
07	20	20	5.0	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
08	20	20	6.0	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
09	20	20	7.5	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
10	20	25	5.0	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
11	20	25	6.0	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
12	20	25	7.5	1.38	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
13	20	25	5.0	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
14	20	25	6.0	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
15	20	25	7.5	1.45	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
16	20	25	5.0	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
17	20	25	6.0	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN
18	20	25	7.5	1.69	6	TENSIÓN	COMPRESIÓN

Fuente: Autor del proyecto

5.2.4 Diseño de los Elementos

Se toma como ejemplo la cubierta 1, el diseño de las demás cubiertas es similar. Con los datos de fuerza obtenidos del análisis estructural para los diferentes elementos, se procede a realizar el diseño de cada uno de ellos para estimar un primer valor de peso propio, debido al tamaño, altura de las cerchas y estética se definió el perfil L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8" como el perfil mínimo de diseño, también se tuvo en cuenta la utilización de perfiles comerciales.

5.2.4.1 Diseño del Cordón Inferior

Los elementos a tensión se utilizan comúnmente en cerchas y en vigas en celosía, así como también en arriostramientos y miembros secundarios; la resistencia de diseño $P_u = \Phi_t P_n$ de un miembro a tensión se calcula como el valor más pequeño de las siguientes expresiones:

Para el estado límite de fluencia en la sección bruta:

$$P_u = \Phi \times \phi_f \times \phi A_g$$

$$\text{Con, } \phi = 0.90$$

$$P_u = \Phi \times \phi_u \times \phi A_e$$

Por fractura en la sección neta:

$$\text{Con, } \phi = 0.75$$

El diseño del cordón inferior se realiza a tensión bajo los criterios de fluencia y fractura, se escogen los elementos del cordón inferior 4 y 13 ya que con el análisis estructural se demuestra que son los que soportan una mayor fuerza a tensión (véase tabla 8), sus conexiones se asumen soldadas, ya que la longitud del cordón de soldadura no tiene incidencia en el peso propio de la estructura.

Diseño de los elementos 4 y 13

Estado límite de fluencia

$$P_u = 145,58 \text{ KN}$$

$$F_y = 248 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,90$$

Se ensaya un perfil: L 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"

Número de ángulos= 2

$$A_g = 3,40 \text{ cm}^2$$

$$F_y = 248 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,90$$

$$Pu \leq \Phi \times fy \times Ag$$

$$Pu = 151,78 \text{ KN} > 145,58 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

Estado límite de fractura

$$Pu = 145,58 \text{ KN}$$

$$Fu = 400 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$U = 0,87 \text{ (Valor asumido considerando que } L = W)$$

$$An = 3,40 \text{ cm}^2$$

$$Ae = An \times U$$

$$Pu = \Phi \times fu \times Ae$$

$$Pu = 177,48 \text{ KN} > 145,58 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

5.2.4.2 Diseño de las Diagonales

El diseño de las diagonales al igual que el diseño del cordón inferior, se realiza a tensión bajo los criterios de fluencia y fractura, se escogen las diagonales 52 y 65 ya que con el análisis estructural se demuestra que son las que soportan una mayor fuerza a tensión (véase tabla 8), sus conexiones se asumen soldadas, ya que la longitud del cordón de soldadura no tiene incidencia en el peso propio de la estructura.

Diseño de los elementos 52 y 65

Estado límite de fluencia

$$Pu = 68,43 \text{ KN}$$

$$Fy = 248 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,90$$

Se ensaya un perfil: L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8" debido al tamaño, altura de las cerchas y estética se definió este perfil como el mínimo a utilizar.

$$\text{Número de ángulos} = 2$$

$$Ag = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$Fy = 248 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,90$$

$$Pu = \Phi \times fy \times Ag$$

$$Pu = 103,56 \text{ KN} > 68,43 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

Estado límite de fractura

$$P_u = 68,43$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$U = 0,87 \text{ (Valor asumido considerando que } L = W)$$

$$A_n = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$A_e = A_n \times U$$

$$P_u = \Phi \times f_u \times A_e$$

$$P_u = 121,10 \text{ KN} > 68,43 \text{ OK}$$

5.2.4.3 Diseño del Cordón Superior








Los elementos a compresión se utilizan ampliamente en todo tipo de estructuras, particularmente en los cordones superiores y montantes de cerchas.

El diseño de elementos a compresión está generalmente controlado por el pandeo que presenta el elemento, el cual está influenciado por su relación de esbeltez y en la cual la ecuación de Euler representa una gran aproximación del comportamiento de las columnas largas.

La longitud efectiva de una columna es la distancia entre sus puntos teóricos de inflexión. El factor de longitud efectiva, **K**, es el número por el cual se multiplica la longitud no arriostrada de la columna para obtener la longitud efectiva, su magnitud depende de la restricción rotacional en los extremos de la columna y de la resistencia lateral de ésta. En la siguiente tabla se muestran los valores de factores de longitud efectiva para las condiciones de apoyo usualmente utilizadas.⁶

⁶ Rodríguez B.J. Estimación del peso propio de cubiertas metálicas con teja liviana a dos aguas para diferentes modulaciones en el área metropolitana de Bucaramanga [TESIS].2008

Tabla 15. Factores de longitud efectiva de columnas.

<p>La línea punteada muestra el perfil pandeado de la columna</p>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<p>Valor teórico de k</p>	0,50	0,70	1,00	1,00	2,00	2,00
<p>Valores recomendados de k cuando se aproxima a las condiciones ideales</p>	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00
<p>Simbología de la condición de los extremos</p>			<p>Rotación impedida Traslación impedida</p>			
			<p>Rotación libre Traslación impedida</p>			
			<p>Rotación impedida Traslación libre</p>			
			<p>Rotación libre Traslación libre</p>			

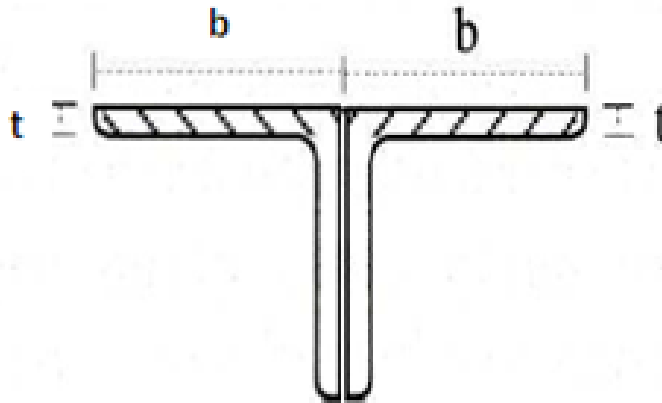
Fuente: B.G. Johnston, F.J. Lin y T.V Galambos. Basic Steel Design, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1986.

A continuación se describe el diseño bajo el criterio de compresión para el cordón superior de la cercha, se escogen los elementos del cordón superior 23 y 30 ya que con el análisis estructural se demuestra que son los que soportan una mayor fuerza a compresión (véase tabla 8). Nuevamente se hace referencia que las conexiones se asumen soldadas, ya que la longitud del cordón de soldadura no tiene incidencia en el peso propio de la estructura.

Elementos 23 y 30

$P_u = 152,37 \text{ KN}$

Figura 25. Perfil en ángulo doble



Fuente: Manual de Diseño de Estructuras de Acero Diaco pág. 40.

Se ensaya un perfil: L 2 ½" x 2 ½" x 3/16"

Número de ángulos= 2

Área= 11,62 cm²

b= 2,5 plg

t= 0, 1875 plg

Area= 5, 81 cm²

I= 22, 76 cm⁴

x= 1,76 cm

Fy= 248 MPa

K= 1 (Los extremos se consideran articulados)

L= 1,38 m

E= 200000 MPa

Φ = 0,85

Área= 11,62 cm²

La sección transversal del perfil utilizado está compuesta por elementos no atiesados, por lo tanto, se debe calcular Qs.

$$\frac{b}{t} = \frac{2,5pg}{0.1875pg} = 13,33$$

$$\frac{200}{\sqrt{fy}} = \frac{200}{\sqrt{248}} = 12,70$$

$$\frac{b}{t} > \frac{200}{\sqrt{fy}} \rightarrow Q_s = 0.983$$

$$I_y = I_y + dx^2 * A = \left(22,76cm^4 + \left(\left(1,76cm + \left(\frac{0,1875pg * 2,54}{2} \right) \right) \wedge 2 \right) * 5,81cm^2 \right) * 2 = 110,504cm^4$$

$$I_x = I_x + dy^2 * A = (22,76cm^4 + (0 * 5,81cm^2)) * 2 = 45,52cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{45,52cm^4}{11,62cm^2}} = 1,98cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{110,504cm^4}{11,62cm^2}} = 3,08cm$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} * \sqrt{\frac{fy}{E}} = \left(\frac{1 * 1,38m}{0,0198m * \pi} \right) * \sqrt{\frac{248MPa}{200000MPa}} = 0,781 < 1,5 \rightarrow \text{pand inelastico}$$

$$Fr = Q * (0,658^{Q+\lambda_c^2}) * fy = 0,983 * (0,658^{0,983+0,781^2}) * 248MPa = 189,68MPa$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 1,38m}{0,0198m} = 69,69 < 200 \rightarrow OK$$

$$Pu = 187,35 KN > 152,37 KN \quad \mathbf{OK}$$

5.2.4.4. Diseño de los Montantes

Se realiza el diseño de los montantes más cargados a compresión 36 y 50 (véase tabla 8) y los más largos 42 y 44 (véase tabla 8), y sus conexiones se asumieron soldadas.

$$P_u = \Phi \times \lambda_{fr} \times \lambda_{Ag}$$

Montantes más cargados

Diseño de los elementos 36 y 50

$$P_u = 37,50 \text{ KN}$$

Se ensaya un perfil: 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"

Número de ángulos= 2

$$P_u = 37,50 \text{ KN}$$

$$\text{Área} = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$b = 1,5 \text{ plg}$$

$$t = 0,125 \text{ plg}$$

$$I = 3,25 \text{ cm}^4$$

$$x = 1,06 \text{ cm}$$

$$F_y = 248 \text{ MPa}$$

K= 1 (Los extremos se consideran articulados)

$$L = 0,45 \text{ m}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,85$$

$$\text{Área} = 4,64 \text{ cm}^2$$

$$\frac{b}{t} = \frac{1,5 \text{ plg}}{0,125 \text{ plg}} = 12$$

$$\frac{200}{\sqrt{f_y}} = \frac{200}{\sqrt{248}} = 12,70$$

$$\frac{b}{t} < \frac{200}{\sqrt{f_y}} \rightarrow Q_s = 1$$

$$I_y = I_y + dx^2 * A = \left(3,25 \text{ cm}^4 + \left(\left(1,06 \text{ cm} + \left(\frac{0,1875 \text{ pg} * 2,54}{2} \right) \right) \wedge 2 \right) * 2,32 \text{ cm}^2 \right) * 2 = 19,36 \text{ cm}^4$$

$$I_x = I_x + dy^2 * A = (3,25 \text{ cm}^4 + (0 * 2,32 \text{ cm}^2)) * 2 = 6,5 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{6,5 \text{ cm}^4}{4,64 \text{ cm}^2}} = 1,18 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{19,36 \text{ cm}^4}{4,64 \text{ cm}^2}} = 2,04 \text{ cm}$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \left(\frac{1 * 0,45 \text{ m}}{0,0118 \text{ m} * \pi} \right) * \sqrt{\frac{248 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}}} = 0,427 < 1,5 \rightarrow \text{pand inelastico}$$

$$F_r = Q * (0,658^{Q * \lambda_c^2}) * f_y = 1 * (0,658^{1 * 0,427^2}) * 248 \text{ MPa} = 233,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 0,45 \text{ m}}{0,0118 \text{ m}} = 120,95 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u = \Phi * F_r * A_g$$

$$P_u = 92,191 \text{ KN} > 37,50 \quad \mathbf{OK}$$

Montantes más largos

Diseño de los elementos 36 y 50

$$P_u = 21,57 \text{ KN}$$

Se ensaya un perfil: 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"

Número de ángulos= 2

$$P_u = 21,57 \text{ KN}$$

$$\text{Área} = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$b = 1,5 \text{ plg}$$

$$t = 0,125 \text{ plg}$$

$$I = 3,25 \text{ cm}^4$$

$$x = 1,06 \text{ cm}$$

$$F_y = 248 \text{ MPa}$$

K= 1 (Los extremos se consideran articulados)

$$L = 2,07 \text{ m}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 0,85$$

$$\text{Área} = 4,64 \text{ cm}^2$$

$$\frac{b}{t} = \frac{1,5 \text{ plg}}{0,125 \text{ plg}} = 12$$

$$\frac{200}{\sqrt{f_y}} = \frac{200}{\sqrt{248}} = 12,70$$

$$\frac{b}{t} < \frac{200}{\sqrt{f_y}} \rightarrow Q_s = 1$$

$$I_y = I_y + dx^2 * A = \left(3,25 \text{ cm}^4 + \left(\left(1,06 \text{ cm} + \left(\frac{0,1875 \text{ plg} * 2,54}{2} \right) \right) \wedge 2 \right) * 2,32 \text{ cm}^2 \right) * 2 = 19,36 \text{ cm}^4$$

$$I_x = I_x + dy^2 * A = (3,25 \text{ cm}^4 + (0 * 2,32 \text{ cm}^2)) * 2 = 6,5 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{6,5\text{cm}^4}{4,64\text{cm}^2}} = 1,18\text{cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{19,36\text{cm}^4}{4,64\text{cm}^2}} = 2,04\text{cm}$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \left(\frac{1 * 2,07\text{m}}{0,0118\text{m} * \pi}\right) * \sqrt{\frac{248\text{MPa}}{200000\text{MPa}}} = 1,966 > 1,5 \rightarrow \text{pand elástico}$$

$$F_{cr} = (0,87/1,966) * 248\text{MPa} = 56,27\text{MPa}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 2,07\text{m}}{0,0118\text{m}} = 104,54 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u = \Phi * F_r * A_g$$

$$P_u = 22,19 \text{ KN} > 21,57 \text{ OK}$$

Se escogió el perfil: 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"

5.2.4.5. Diseño de las Correas

$$W_u = (1,2 \times CM \times \text{Sep. Correas}) + (1,4 \times CV \times \text{Sep. Correas})$$

$$W_u = (1,2 \times 0,33\text{KN/m}^2 \times 1,38\text{m}) + (1,4 \times 0,35\text{KN/m}^2 \times 1,38\text{m}) = 1,22\text{KN/m}$$

$$lb = \frac{5}{3} = 1,67$$

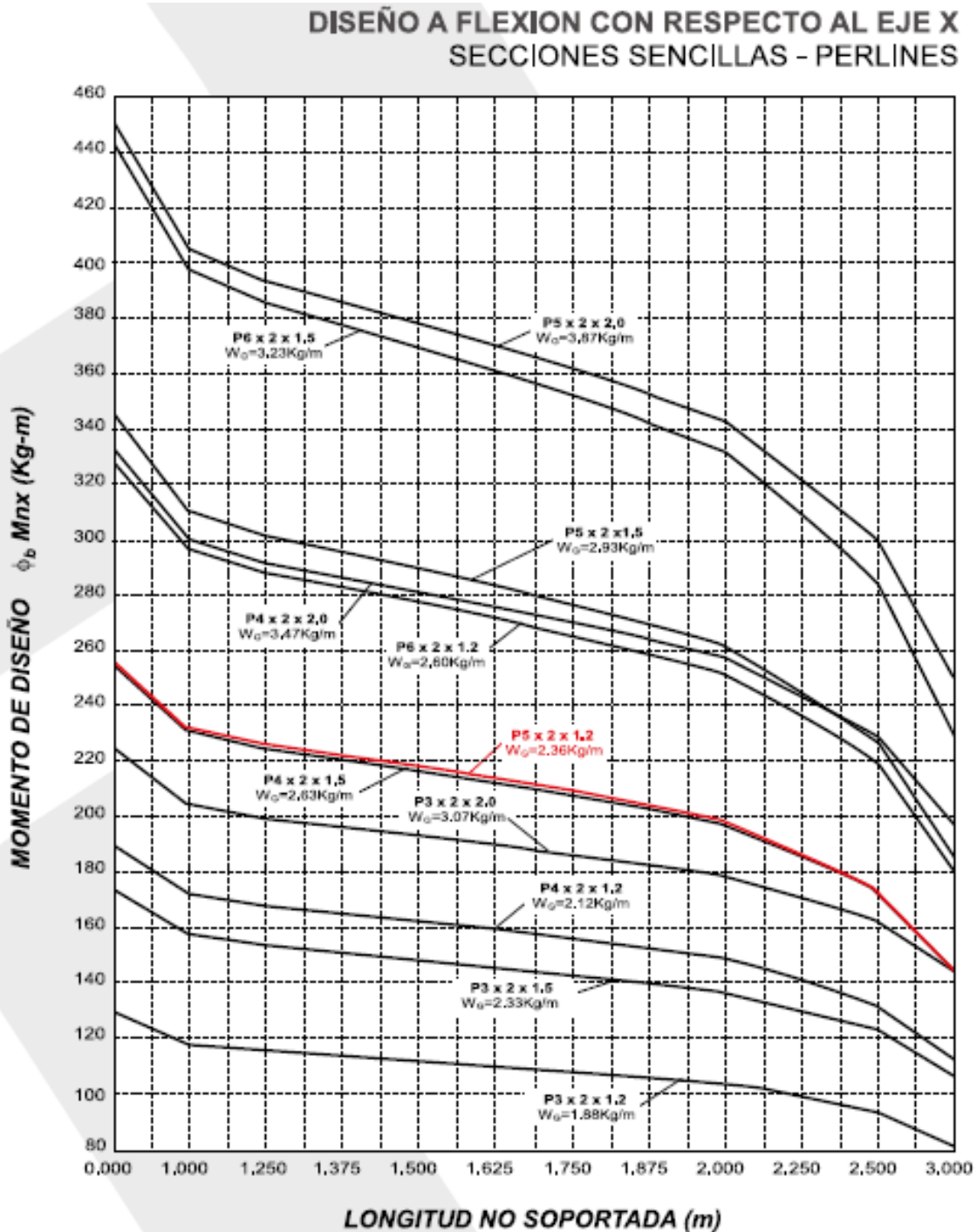
$$Mu = \frac{W * L^2}{8} = \frac{\left(1,104KN/m * 5^2m\right)}{8} = 3,82 KN.m$$

Los perlines para el diseño de correas se escogen con base en el Manual Técnico PERFILAMOS del Cauca S.A. A continuación se muestran las graficas del diseño a flexión con respecto al eje X, para secciones sencillas de perlines, se escogieron solo perfiles en negro ya que los que están en rojo solo se producen bajo pedido.

Perfil: P6 2 x 2

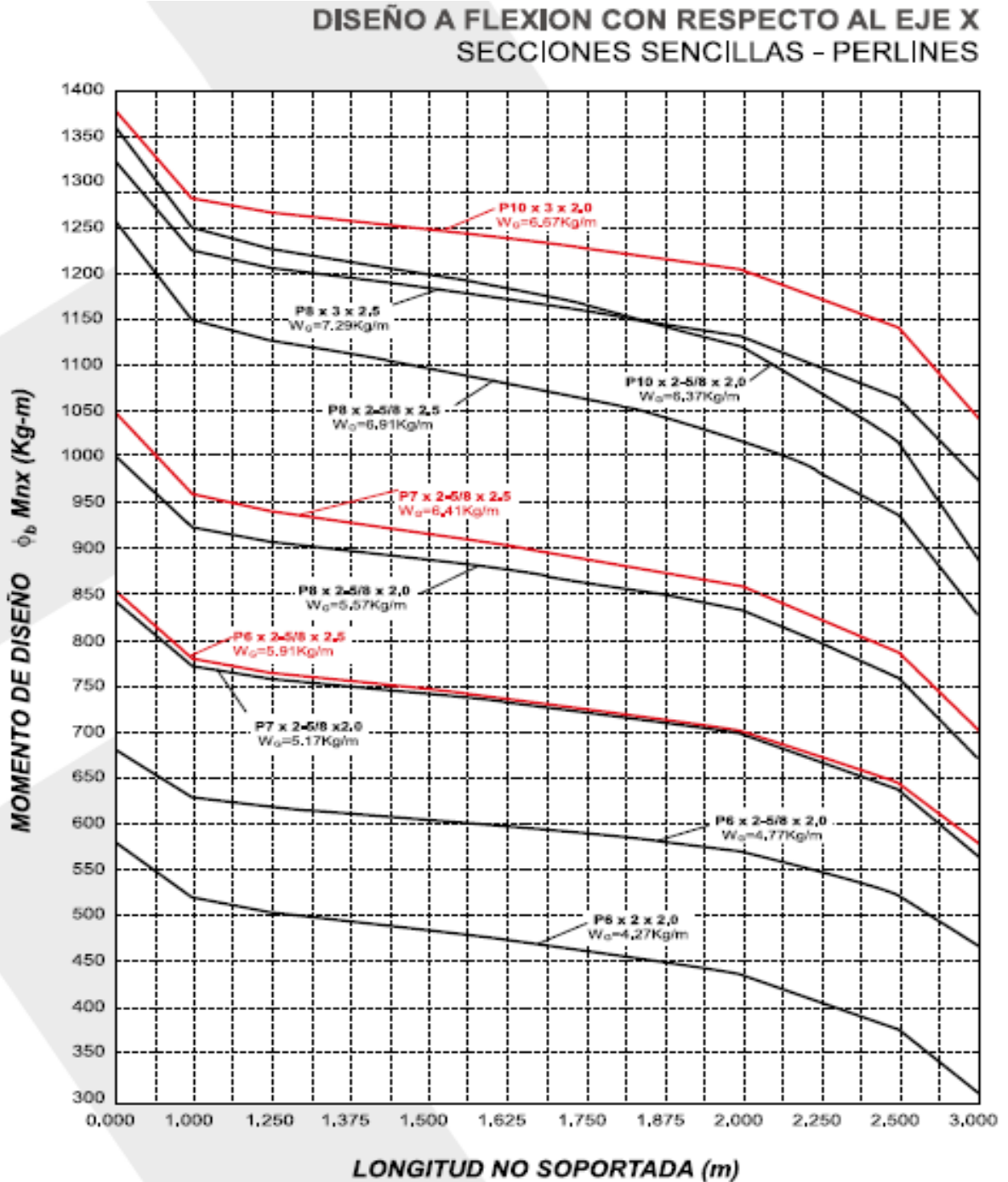
WG= 4,27 Kg/m

Figura 26. Diseño a flexión de perlines para correas.



Fuente: PERFILAMOS del cauca S.A. *Manual Técnico*, 200

Figura 27. Diseño a flexión de perlines para correas.



Fuente: PERFILAMOS del cauca S.A. *Manual Técnico*, 2001.

5.2.5 Estimación del Peso Propio

De acuerdo con el primer diseño de las 18 cubiertas se estima el valor del peso propio en Kg. de cada una de ellas sabiendo que en el ámbito comercial las cubiertas metálicas se cobran en kilos. Éste valor incluye el peso de las cerchas, correas, entramado, tirantes, tensores, contravientos, riostras y cartelas. A continuación se muestran las tablas donde se especifican estos valores.

Tabla 16. Estimación del peso propio cubierta 1.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1			7	20000	3282
2	Correas C-1	P6 x 2 x 2	4,27	108	5000	2306
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1380	61
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	144	1380	236
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	230	7
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2164	29
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	16	7448	186
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	16	6641	166
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	12	5520	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	238	-	446
TOTAL =						7021

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{7021Kg}{600m^2} = 11,70 Kg/m^2$$

Tabla 17. Estimación del peso propio cubierta 2.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		520	6	20000	3117
2	Correas C-1	P6 x 2-5/8 x 2	4,77	90	6000	2576
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1380	51
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	120	1380	197
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	20	230	5
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	20	2430	27
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	12	8153	153
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	12	7423	139
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6440	294
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	204	-	383
TOTAL =						6942

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{6942Kg}{600m^2} = 11,57 Kg/m^2$$

Tabla 18. Estimación del peso propio cubierta 3.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		642	5	20000	3210
2	Correas C-1	P8" 5/8" X 2mm	5,57	72	7500	3008
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1380	61
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	144	1380	236
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	230	7
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2328	31
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	8	9312	116
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	8	8680	108
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	7857	287
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	170		319
TOTAL =						7383

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2 \quad PESO PROPIO = \frac{7383Kg}{600m^2} = 12,31 Kg/m^2$$

Tabla 19. Estimación del peso propio cubierta 4.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		459	7	20000	3376
2	Correas C-1	P6 X 2 X 2.0	4,27	96	5000	2050
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1450	64
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	120	1450	207
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	1190	34
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2242	30
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	16	6727	168
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	16	7359	184
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	12	5520	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	210	-	394
TOTAL =						6646

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2 \quad PESO PROPIO = \frac{6646Kg}{600m^2} = 11,08 Kg/m^2$$

Tabla 20. Estimación del peso propio cubierta 5.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		508	6	20000	3048
2	Correas C-1	P6 X 2 5/8 X 2.0	4,77	80	6000	2482
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1450	53
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	100	1450	173
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	20	1190	28
6	Tensores TS-1	ϕ 3/8"	0,56	20	2500	28
7	Contravientos Cv-1	ϕ 5/8"	1,56	12	7500	140
8	Contravientos Cv-2	ϕ 5/8"	1,56	12	8072	151
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6440	294
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	180		338
TOTAL =						6543

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{6543Kg}{600m^2} = 10,9 Kg/m^2$$

Tabla 21. Estimación del peso propio cubierta 6.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		666	5	20000	3332
2	Correas C-1	P8" 2-5/8 x 2	6,91	64	7500	2674
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1450	64
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	120	1450	207
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	1190	34
6	Tensores TS-1	ϕ 3/8"	0,56	24	2401	34
7	Contravientos Cv-1	ϕ 5/8"	1,56	8	8746	109
8	Contravientos Cv-2	ϕ 5/8"	1,56	8	9242	115
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	7857	287
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	150		281
TOTAL =						7779

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{7779Kg}{600m^2} = 12,97 Kg/m^2$$

Tabla 22. Estimación del peso propio cubierta 7.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		443	7	20000	3098
2	Correas C-1	P6" 2-5/8 x 2	4,77	84	5000	2003
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1690	74
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	96	1690	193
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	1440	41
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2374	32
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	16	7121	178
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	16	6945	173
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	12	5520	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	182		341
TOTAL =						6437

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{6437Kg}{600m^2} = 10,73 Kg/m^2$$

Tabla 23. Estimación del peso propio cubierta 8.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1			6	20000	3191
2	Correas C-1	P7" 2-5/8 x 2	5,17	70	6000	2171
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1690	62
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	80	1690	161
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	20	1440	34
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	20	2618	29
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	12	7855	147
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	12	7696	144
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6440	294
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	156		293
TOTAL =						6527

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{6527Kg}{600m^2} = 10,88 Kg/m^2$$

Tabla 24. Estimación del peso propio cubierta 9.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		644	5	20000	3218
2	Correas C-1	P8" 2-5/8 x 2,5	6,91	56	7500	2902
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1690	74
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	96	1690	193
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	1440	41
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2524	34
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	8	9053	113
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	8	8915	111
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	7857	287
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	130		244
TOTAL =						7218

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 20m = 600m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{7218Kg}{600m^2} = 12,03 Kg/m^2$$

Tabla 25. Estimación del peso propio cubierta 10.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1			7	25000	5434
2	Correas C-1	P6 x 2 x 2	4,27	120	5000	2562
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1380	61
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	192	1380	315
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2164	29
8	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	48	6492	486
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	12	5759	316
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	266	-	499
TOTAL =						9701

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9701Kg}{750m^2} = 12,94 Kg/m^2$$

Tabla 26. Estimación del peso propio cubierta 11.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		881	6	25000	5283
2	Correas C-1	P6 x 2-5/8 x 2	4,77	100	6000	2862
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1380	51
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	160	1380	263
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	20	2430	27
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	36	7290	409
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6638	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	228	-	428
					TOTAL =	9626

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9626Kg}{750m^2} = 12,83 Kg/m^2$$

Tabla 27. Estimación del peso propio cubierta 12.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		1137	5	25000	5684
2	Correas C-1	P8 x 2-5/8 x 2,5	6,91	80	7500	4146
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1380	61
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	192	1380	315
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2328	31
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	24	8567	321
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	8020	293
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	190	-	356
					TOTAL =	11207

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{11207Kg}{750m^2} = 14,94 Kg/m^2$$

Tabla28. Estimación del peso propio cubierta 13.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		769	7	25000	5381
2	Correas C-1	P6" x 2" x 2,0 mm	4,27	120	5000	2562
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1450	64
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	168	1450	290
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	840	24
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2242	30
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	32	6727	336
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	16	6069	151
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	12	5750	315
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	266	-	499
TOTAL =						9652

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9652Kg}{750m^2} = 12,87 Kg/m^2$$

Tabla 29. Estimación del peso propio cubierta 14.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		823	6	25000	4939
2	Correas C-1	P6" x 2-5/8 x 2mm	4,77	100	6000	2862
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1450	53
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	140	1450	242
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	20	840	20
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	20	2500	28
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	24	7500	281
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	12	6916	129
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6638	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	228	-	428
TOTAL =						9285

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9285Kg}{750m^2} = 12,38 Kg/m^2$$

Tabla 30. Estimación del peso propio cubierta 15.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		1046	5	25000	5229
2	Correas C-1	P8" x 2-5/8 x 2,5mm	6,91	80	7500	4146
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1450	64
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	168	1450	290
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	840	24
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2401	32
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	16	8746	218
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	8	8251	103
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	8020	293
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	190	-	356
TOTAL =						10756

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{10756Kg}{750m^2} = 14,34 Kg/m^2$$

Tabla 31. Estimación del peso propio cubierta 16.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		740	7	25000	5177
2	Correas C-1	P8" x 2-5/8 x 2,5mm	4,77	108	5000	2576
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1690	74
4	Tirantes T-1	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	144	1690	290
5	Tirantes T-2	L 1" x 1" x 1/8"	1,19	24	610	17
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2374	32
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	32	7121	355
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	16	5504	137
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	16	5750	315
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	238	-	446
TOTAL =						9420

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9420Kg}{750m^2} = 12,56 Kg/m^2$$

Tabla 32. Estimación del peso propio cubierta 17.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		856	6	25000	5134
2	Correas C-1	P8" x 2-5/8 x 2,5mm	5,17	90	6000	2792
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	20	1690	62
4	Tirantes T-1	L 1" x 1 " x 1/8"	1,19	120	1690	241
5	Tirantes T-2	L 1" x 1 " x 1/8"	1,19	20	610	15
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	20	2618	29
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	24	7855	294
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	12	7206	135
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	10	6638	303
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	204	-	383
TOTAL =						9388

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{9388Kg}{750m^2} = 12,52 Kg/m^2$$

Tabla 33. Estimación del peso propio cubierta 18.

ITEM	DESCRIPCION	PERFIL	PESO (Kg/m)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	PESO TOTAL (Kg)
1	Cercha CH-1		1079	5	25000	5394
2	Correas C-1	P8" x 2-5/8 x 2,5mm	6,91	72	7500	3731
3	Entramado E-1	L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1,83	24	1690	74
4	Tirantes T-1	L 1" x 1 " x 1/8"	1,19	144	1690	290
5	Tirantes T-2	L 1" x 1 " x 1/8"	1,19	24	610	17
6	Tensores TS-1	φ 3/8"	0,56	24	2524	34
7	Contravientos Cv-1	φ 5/8"	1,56	16	9053	226
8	Contravientos Cv-2	φ 5/8"	1,56	8	7845	98
9	Riostras R-1	L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"	4,57	8	8020	293
10	Cartelas	PL 250 x 200 x 3/16"	1,875	170	-	319
TOTAL =						10477

Fuente: Autor del proyecto

$$AREA = 30m * 25m = 750m^2$$

$$PESO PROPIO = \frac{10477Kg}{750m^2} = 13,97 Kg/m^2$$

A continuación se muestran las tablas de resumen de los Perfiles que resultaron del primer diseño de cada una de las cubiertas.

Tabla 34. Perfiles de las cerchas de la cubierta 1.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 35. Perfiles de las cerchas de la cubierta 2.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 36. Perfiles de las cerchas de la cubierta 3.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 37. Perfiles de las cerchas de la cubierta 4.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 38. Perfiles de las cerchas de la cubierta 5.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 39. Perfiles de las cerchas de la cubierta 6.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 40. Perfiles de las cerchas de la cubierta 7.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 41. Perfiles de las cerchas de la cubierta 8.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 42. Perfiles de las cerchas de la cubierta 9.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 43. Perfiles de las cerchas de la cubierta 10.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 44. Perfiles de las cerchas de la cubierta 11.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 45. Perfiles de las cerchas de la cubierta 12.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	3" X 3" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 3/16"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 46. Perfiles de las cerchas de la cubierta 13.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 47. Perfiles de las cerchas de la cubierta 14.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 48. Perfiles de las cerchas de la cubierta 15.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	3" X 3" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 49. Perfiles de las cerchas de la cubierta 16.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 50. Perfiles de las cerchas de la cubierta 17.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	3" X 3" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 51. Perfiles de las cerchas de la cubierta 18.

CORDON INFERIOR	┘└ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 1/4"
CORDON SUPERIOR	┘└ 2 ANGULOS	3" X 3" X 1/4"
DIAGONALES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
MONTANTES	┘└ 2 ANGULOS	2" X 2" X 3/16"

Fuente: Autor del proyecto

5.3 TERCERA ETAPA

En esta última fase del trabajo se realiza el análisis de los datos arrojados por el proceso de rediseño de las cubiertas. Se presenta una tabla con los datos de peso propio de las cubiertas y tablas con el porcentaje con que influye cada uno de los elementos que las conforman. También Mediante gráficas se exponen los valores obtenidos analizando la variación del peso propio de acuerdo con las variables planteadas.

5.3.1 Peso Propio Real de las Cubiertas

A continuación se muestra la comparación entre el peso propio asumido y el peso propio.

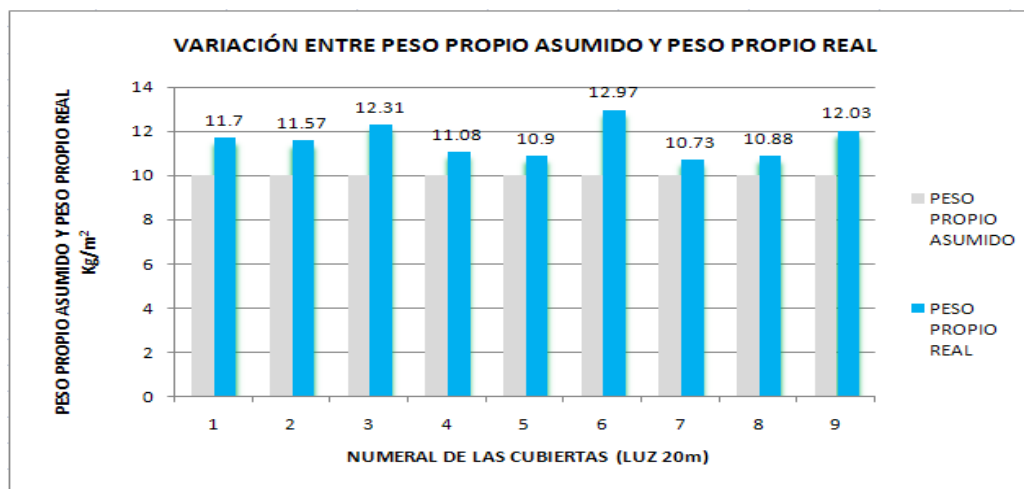
Tabla 52. Comparación del peso propio asumido y peso propio real.

CUBIERTA Nº	PESO PROPIO ASUMIDO (Kg/m ²)	PESO PROPIO REAL (Kg/m ²)	PORCENTAJE DE AUMENTO DEL PESO PROPIO (%)
1	10	11,70	17,00
2	10	11,57	15,70
3	10	12,31	23,10
4	10	11,08	10,80
5	10	10,90	09,00
6	10	12,97	29,70
7	10	10,73	07,30
8	10	10,88	08,80
9	10	12,03	20,30
10	10	12,94	29,40
11	10	12,83	28,30
12	10	14,94	49,40
13	10	12,87	28,70
14	10	12,38	23,80
15	10	14,34	43,40
16	10	12,56	25,60
17	10	12,52	25,20
18	10	13,97	39,70

Fuente: Autor del proyecto

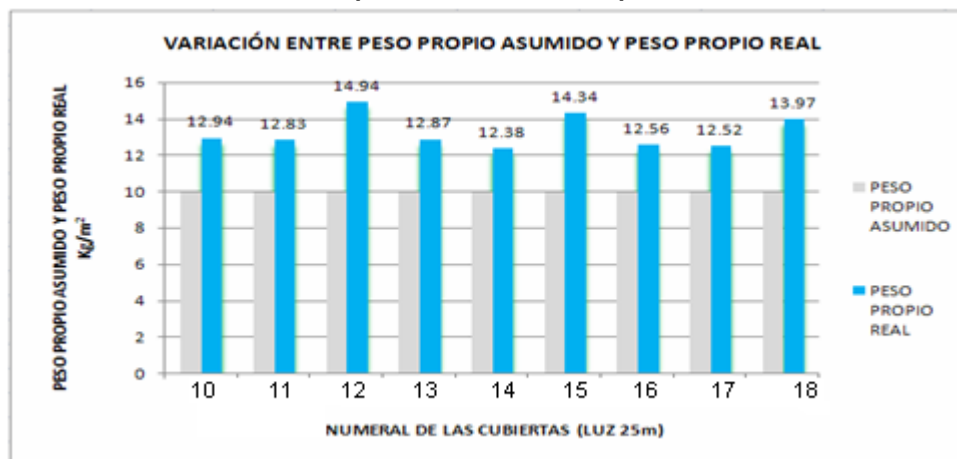
Para el primer diseño de las cubiertas se asumió un peso propio de 10 Kg/m² para todas las cubiertas, luego de estimar el primer valor de peso propio se encontró una variación en dicho valor por lo que se procedió a rediseñar las cubiertas y así determinar el peso propio real de la estructura. En las siguientes gráficas se muestra la variación entre el peso propio asumido y el peso propio real.

Figura 28. Variación entre el peso propio asumido y el peso propio real (cubiertas 1 – 9).



Fuente: Autor del proyecto

Figura 29. Variación entre el peso propio asumido y el peso propio real (cubiertas 10 – 18).



Fuente: Autor del proyecto

A continuación se muestra la base de datos con el peso propio real de cada una de las cubiertas.

Tabla 53. Peso propio real de las 18 cubiertas

CUBIERTA	LUZ (m)	SEPARACION CERCHAS (m)	SEPARACION CORREAS (m)	PESO PROPIO REAL (Kg/m ²)
1	20	5	1,38	11,70
2		6		11,57
3		7,5		12,31
4	20	5	1,45	11,08
5		6		10,90
6		7,5		12,97
7	20	5	1,69	10,73
8		6		10,88
9		7,5		12,03
10	25	5	1,38	12,94
11		6		12,83
12		7,5		14,94
13	25	5	1,45	12,87
14		6		12,38
15		7,5		14,34
16	25	5	1,69	12,56
17		6		12,52
18		7,5		13,97

Fuente: Autor del proyecto

5.3.2 Porcentaje de Peso Aportado por cada Elemento a las Cubiertas

En las siguientes tablas se muestra en porcentaje que tanto aporta cada elemento de la cubierta al peso total de la misma.

Tabla 54. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 1.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3282	46,70
2	Correas C-1	2306	32,80
3	Entramado E-1	61	0,90
4	Tirantes T-1	236	3,40
5	Tirantes T-2	7	0,10
6	Tensores TS-1	29	0,40
7	Contravientos Cv-1	186	2,60
8	Contravientos Cv-2	166	2,40
9	Riostras R-1	303	4,30
10	Cartelas	446	6,40
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 55. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 2.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	31,17	44,90
2	Correas C-1	25,76	37,10
3	Entramado E-1	51	0,70
4	Tirantes T-1	197	2,80
5	Tirantes T-2	5	0,10
6	Tensores TS-1	27	0,40
7	Contravientos Cv-1	153	2,20
8	Contravientos Cv-2	139	2,00
9	Riostras R-1	294	4,20
10	Cartelas	383	5,50
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 56. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 3.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3210	43,50
2	Correas C-1	3008	40,70
3	Entramado E-1	61	0,80
4	Tirantes T-1	236	3,20
5	Tirantes T-2	7	0,10
6	Tensores TS-1	31	0,40
7	Contravientos Cv-1	116	1,60
8	Contravientos Cv-2	108	1,50
9	Riostras R-1	287	3,90
10	Cartelas	319	4,30
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 57. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 4.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3214	48,40
2	Correas C-1	2050	30,80
3	Entramado E-1	64	1,00
4	Tirantes T-1	207	3,10
5	Tirantes T-2	34	0,50
6	Tensores TS-1	30	0,50
7	Contravientos Cv-1	168	2,50
8	Contravientos Cv-2	184	2,80
9	Riostras R-1	303	4,60
10	Cartelas	394	5,90
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 58. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 5.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3048	46,60
2	Correas C-1	2290	35,00
3	Entramado E-1	53	0,80
4	Tirantes T-1	173	2,60
5	Tirantes T-2	28	0,40
6	Tensores TS-1	28	0,40
7	Contravientos Cv-1	140	2,10
8	Contravientos Cv-2	151	2,30
9	Riostras R-1	294	4,50
10	Cartelas	338	5,20
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 59. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 6

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3332	42,80
2	Correas C-1	3317	42,60
3	Entramado E-1	64	0,80
4	Tirantes T-1	207	2,70
5	Tirantes T-2	34	0,40
6	Tensores TS-1	32	0,40
7	Contravientos Cv-1	109	1,40
8	Contravientos Cv-2	115	1,50
9	Riostras R-1	287	3,70
10	Cartelas	281	3,60
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 60. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 7.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3098	48,10
2	Correas C-1	2003	31,10
3	Entramado E-1	74	1,20
4	Tirantes T-1	193	3,00
5	Tirantes T-2	41	0,60
6	Tensores TS-1	32	0,50
7	Contravientos Cv-1	178	2,80
8	Contravientos Cv-2	173	2,70
9	Riostras R-1	303	4,70
10	Cartelas	341	5,30
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 61. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 8

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3191	48,90
2	Correas C-1	2171	33,30
3	Entramado E-1	62	0,90
4	Tirantes T-1	161	2,50
5	Tirantes T-2	34	0,50
6	Tensores TS-1	29	0,40
7	Contravientos Cv-1	147	2,30
8	Contravientos Cv-2	144	2,20
9	Riostras R-1	294	4,50
10	Cartelas	293	4,50
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 62. Porcentaje que aporta cada elemento cubierta 9.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	3218	44,60
2	Correas C-1	2902	40,20
3	Entramado E-1	74	1,00
4	Tirantes T-1	193	2,70
5	Tirantes T-2	41	0,60
6	Tensores TS-1	34	0,50
7	Contravientos Cv-1	113	1,60
8	Contravientos Cv-2	111	1,50
9	Riostras R-1	287	4,00
10	Cartelas	244	3,40
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 63. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 10.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5434	56,00
2	Correas C-1	2562	26,40
3	Entramado E-1	61	0,60
4	Tirantes T-1	315	3,30
5	Tensores TS-1	29	0,30
6	Contravientos Cv-1	486	5,00
7	Riostras R-1	316	3,30
8	Cartelas	499	5,10
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 64. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 11.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5283	54,90
2	Correas C-1	2862	29,70
3	Entramado E-1	51	0,50
4	Tirantes T-1	263	2,70
5	Tensores TS-1	27	0,30
6	Contravientos Cv-1	409	4,30
7	Riostras R-1	303	3,20
8	Cartelas	428	4,40
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 65. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 12.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5684	50,70
2	Correas C-1	4146	37,00
3	Entramado E-1	61	0,50
4	Tirantes T-1	315	2,80
5	Tensores TS-1	31	0,30
6	Contravientos Cv-1	231	2,90
7	Riostras R-1	293	2,60
8	Cartelas	356	3,20
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 66. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 13.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5381	55,70
2	Correas C-1	2562	26,50
3	Entramado E-1	64	0,70
4	Tirantes T-1	290	3,00
5	Tirantes T-2	24	0,20
6	Tensores TS-1	30	0,30
7	Contravientos Cv-1	336	3,50
8	Contravientos Cv-2	151	1,60
9	Riostras R-1	315	3,30
10	Cartelas	499	5,20
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 67. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 14

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	4939	53,20
2	Correas C-1	2862	30,80
3	Entramado E-1	53	0,60
4	Tirantes T-1	242	2,60
5	Tirantes T-2	20	0,20
6	Tensores TS-1	28	0,20
7	Contravientos Cv-1	281	3,00
8	Contravientos Cv-2	129	1,40
9	Riostras R-1	303	3,30
10	Cartelas	428	4,60
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 68. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 15.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5229	48,60
2	Correas C-1	4146	38,50
3	Entramado E-1	64	0,60
4	Tirantes T-1	290	2,70
5	Tirantes T-2	24	0,20
6	Tensores TS-1	32	0,30
7	Contravientos Cv-1	218	2,00
8	Contravientos Cv-2	103	1,00
9	Riostras R-1	293	2,70
10	Cartelas	356	3,30
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 69. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 16.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5177	55,00
2	Correas C-1	2576	27,30
3	Entramado E-1	74	0,80
4	Tirantes T-1	290	3,10
5	Tirantes T-2	17	0,20
6	Tensores TS-1	32	0,30
7	Contravientos Cv-1	355	3,80
8	Contravientos Cv-2	137	1,50
9	Riostras R-1	315	3,30
10	Cartelas	446	4,70
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 70. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 17.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5134	54,70
2	Correas C-1	2792	29,70
3	Entramado E-1	62	0,70
4	Tirantes T-1	241	2,60
5	Tirantes T-2	15	0,20
6	Tensores TS-1	29	0,30
7	Contravientos Cv-1	294	3,10
8	Contravientos Cv-2	315	1,40
9	Riostras R-1	303	3,20
10	Cartelas	383	4,10
TOTAL			100

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 71. Porcentaje que aporta cada elemento Cubierta 18.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO TOTAL (Kg)	% DE PESO
1	Cercha CH-1	5394	51,50
2	Correas C-1	3731	35,60
3	Entramado E-1	74	0,70
4	Tirantes T-1	290	2,80
5	Tirantes T-2	17	0,20
6	Tensores TS-1	34	0,30
7	Contravientos Cv-1	226	2,20
8	Contravientos Cv-2	98	0,90
9	Riostras R-1	293	2,80
10	Cartelas	319	3,00
TOTAL			100,0

Fuente: Autor del proyecto

Según los datos de porcentajes en la tabla se evidencia que las cerchas y las correas son las que aportan un mayor porcentaje al peso total de la cubierta.

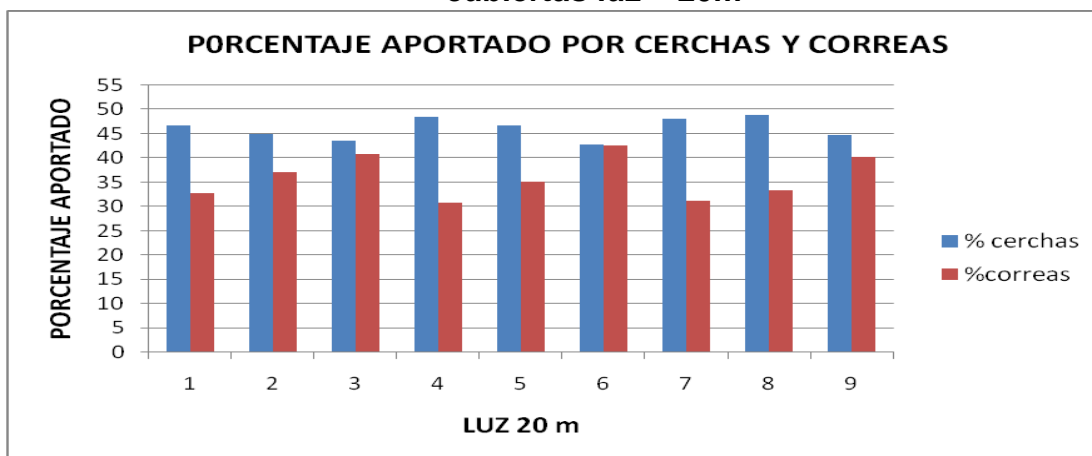
A continuación se muestra el peso total de cada una de las cubiertas y sus características.

Tabla 72. Peso total de las cubiertas

CUBIERTA	LUZ	SEP CERCHAS	SEP CORREAS	AREA m ²	PESO PROPIO REAL (Kg/m ²)	PESO TOTAL (Kg)
1	20	5	1,38	600	11,70	7021
2	20	6	1,45	600	11,57	6942
3	20	7,5	1,69	600	12,31	7383
4	20	5	1,38	600	11,08	6646
5	20	6	1,45	600	10,90	6543
6	20	7,5	1,69	600	12,97	7779
7	20	5	1,38	600	10,73	6437
8	20	6	1,45	600	10,88	6527
9	20	7,5	1,69	600	12,03	7218
10	25	5	1,38	750	12,94	9701
11	25	6	1,45	750	12,83	9626
12	25	7,5	1,69	750	14,94	11207
13	25	5	1,38	750	12,87	9652
14	25	6	1,45	750	12,38	9285
15	25	7,5	1,69	750	14,34	10756
16	25	5	1,38	750	12,56	9420
17	25	6	1,45	750	12,52	9388
18	25	7,5	1,69	750	13,97	10477

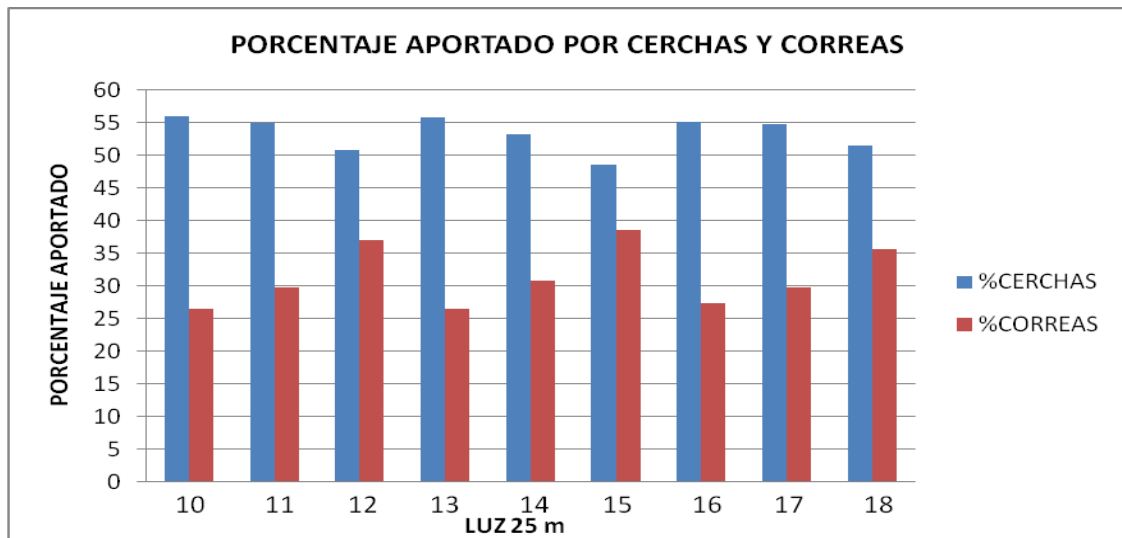
Fuente: Autor del proyecto

Figura 30.. Porcentaje de peso aportado por cerchas y correas a las cubiertas luz = 20m



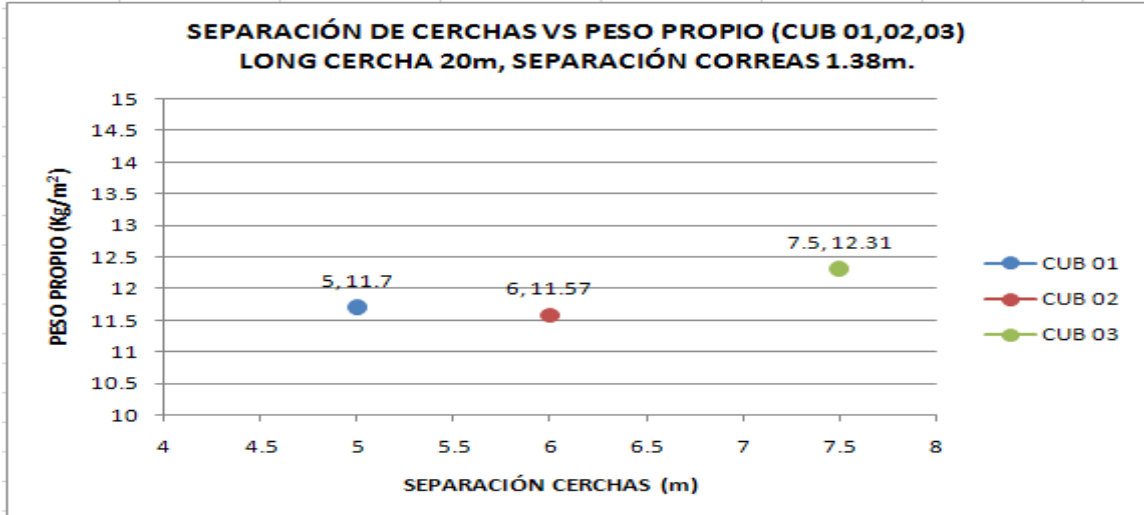
Fuente: Autor del proyecto

Figura 31. Porcentaje de peso aportado por cerchas y correas a las cubiertas luz = 25m



Fuente: Autor del proyecto

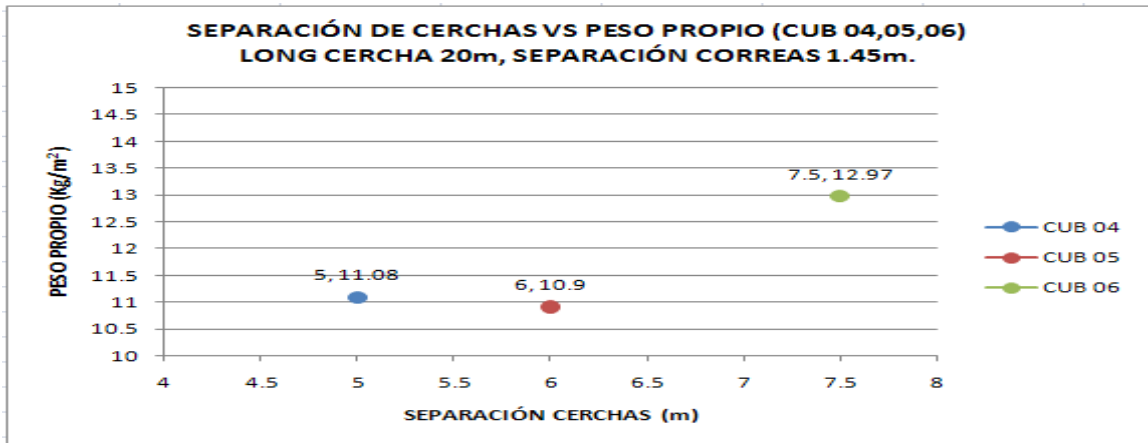
Figura 32. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 1, 2 y 3).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se puede precisar que la separación de cerchas de 6 m es la que menos peso propio genera según los requerimientos de carga, lo anterior para cerchas con longitud de 20 m y distancia entre correas de 1,38 m.

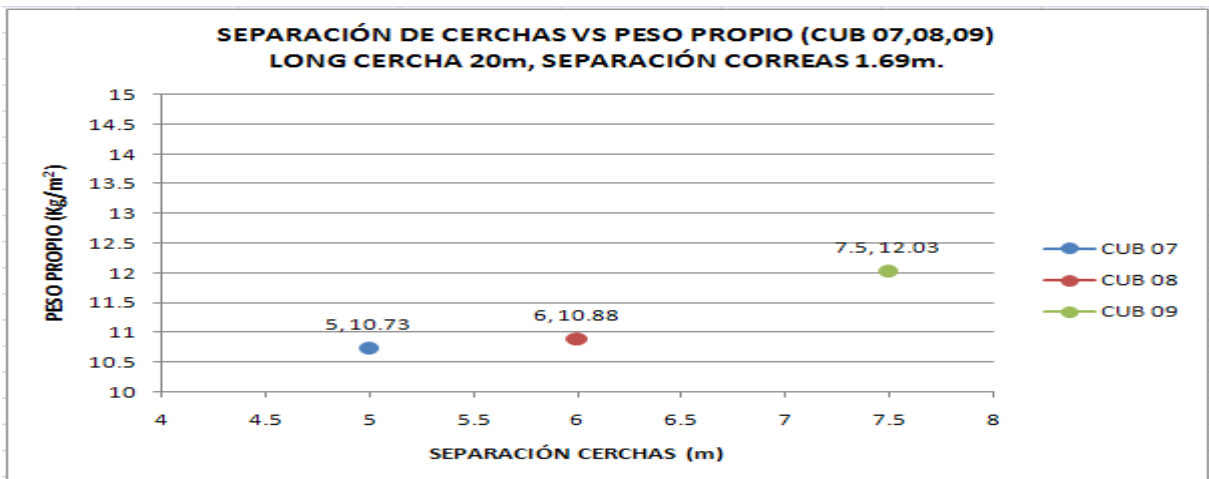
Figura 33. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 4, 5 y 6).



Fuente: Autor del proyecto

Según esta gráfica se puede decir que con separaciones de cerchas mayores a 6 m el aumento en el peso propio de la estructura es muy notorio. Y a la vez esta indica que la separación de cerchas de 6 m es la que menos peso propio genera según los requerimientos de carga, lo anterior para cerchas con longitud de 20 m y distancia entre correas de 1,45 m.

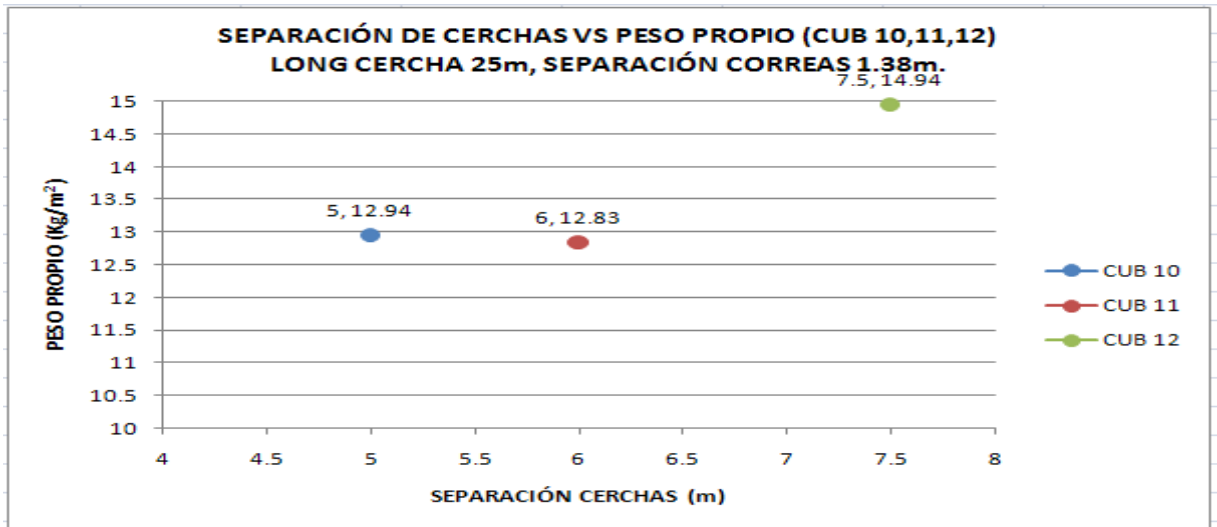
Figura 34. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 7, 8 y 9).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se aprecia que una separación de cerchas de 6 m, es la separación que menos peso propio genera a la estructura, y a su vez sigue indicando el aumento de peso propio cuando la separación de cerchas es mayor a 6 m, lo anterior para cerchas con longitud de 20 m y distancia entre correas de 1,69 m.

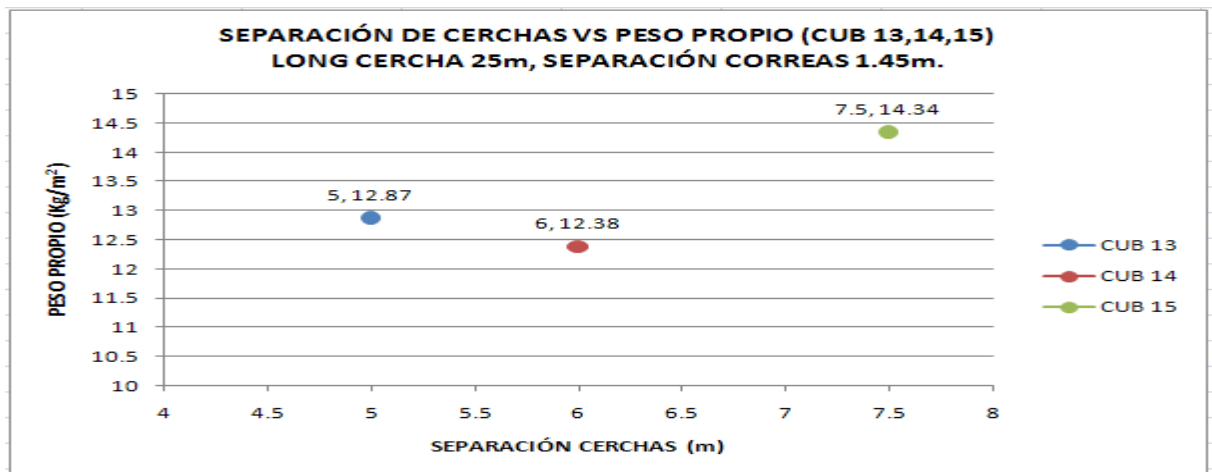
Figura 35. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 10, 11 y 12).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se observa claramente que el peso propio aumenta de manera evidente cuando la separación de cerchas es mayor a 6 m y el área a cubrir aumenta considerablemente por lo tanto se tiene una relación directamente proporcional.

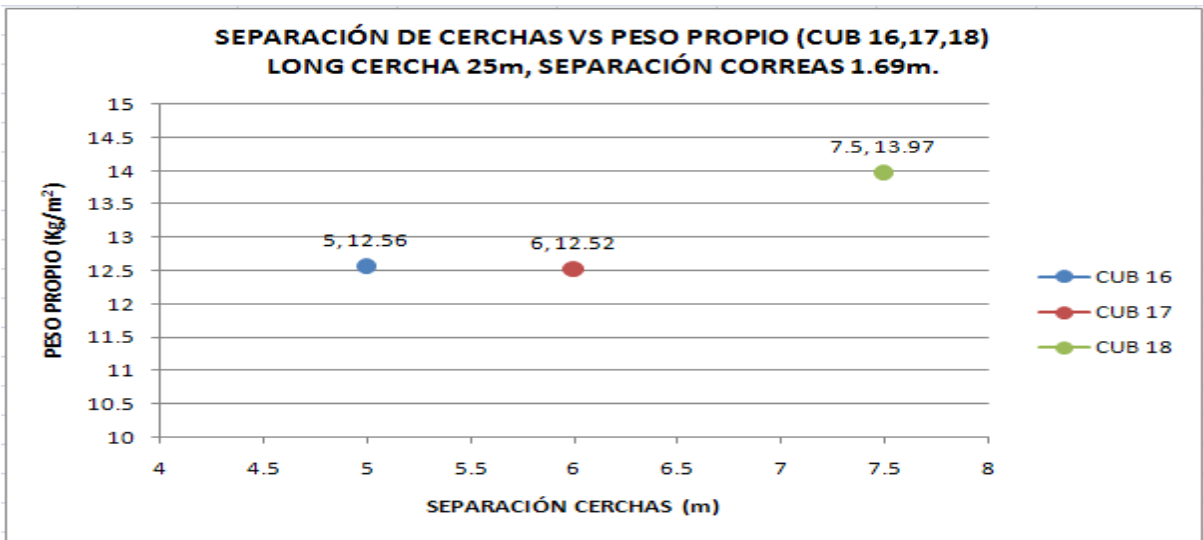
Figura 36. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 13, 14 y 15)



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica puede precisarse que la separación de cerchas de 6 m es la que genera el menor peso propio según los requerimientos de carga, lo anterior para cerchas con longitud de 25 m y distancia entre correas de 1,45 m, pero no significa que sea la separación óptima para este tipo de cubiertas.

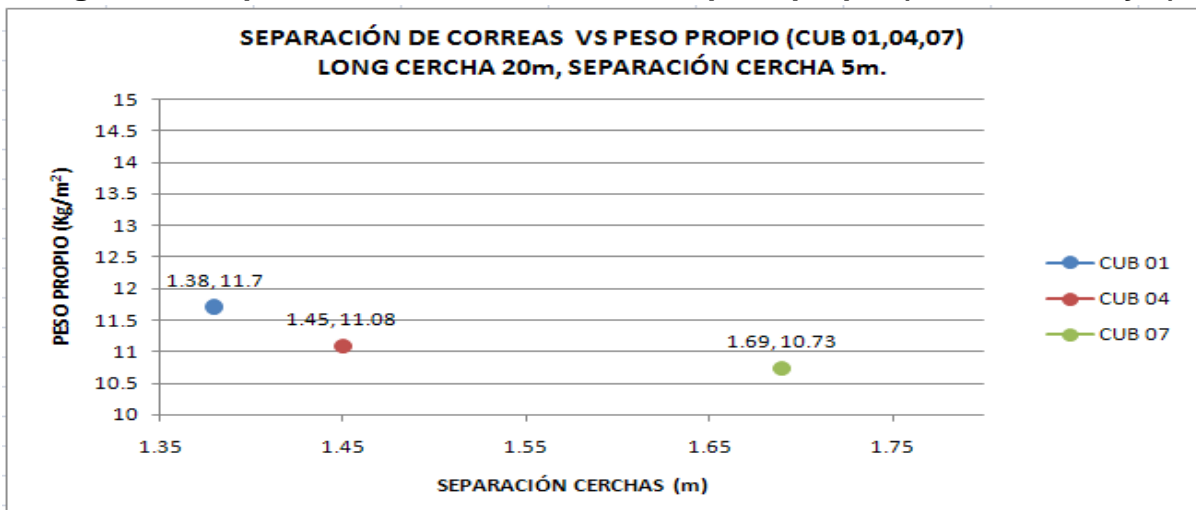
Figura 37. Separación entre cerchas versus peso propio (cubiertas 16, 17, 18).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se puede apreciar que la diferencia de peso propio entre las cubiertas 16 y 17 es mínima, con respecto a la cubierta 18, lo que significa que para cubiertas con longitud de cerchas de 25 m y separación de 1,69 m, la separación de cerchas que menos peso propio genera son de 5 m y 6 m.

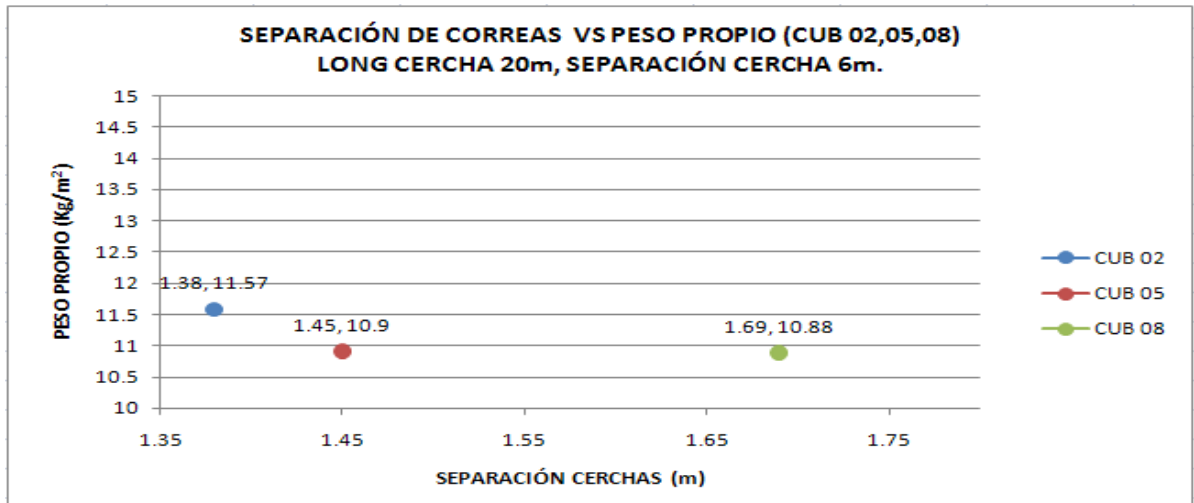
Figura 38. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 1, 4 y 7).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se observa que la separación de correas de 1.69 m, es la separación que menos peso propio genera a la estructura, esto se debe a que el peso por metro lineal de los perlines no es proporcional al número de los mismos ni a sus requerimientos de carga, en un área determinada. Lo anterior para cubiertas con cerchas de longitud 20 m y separación entre ellas de 5 m.

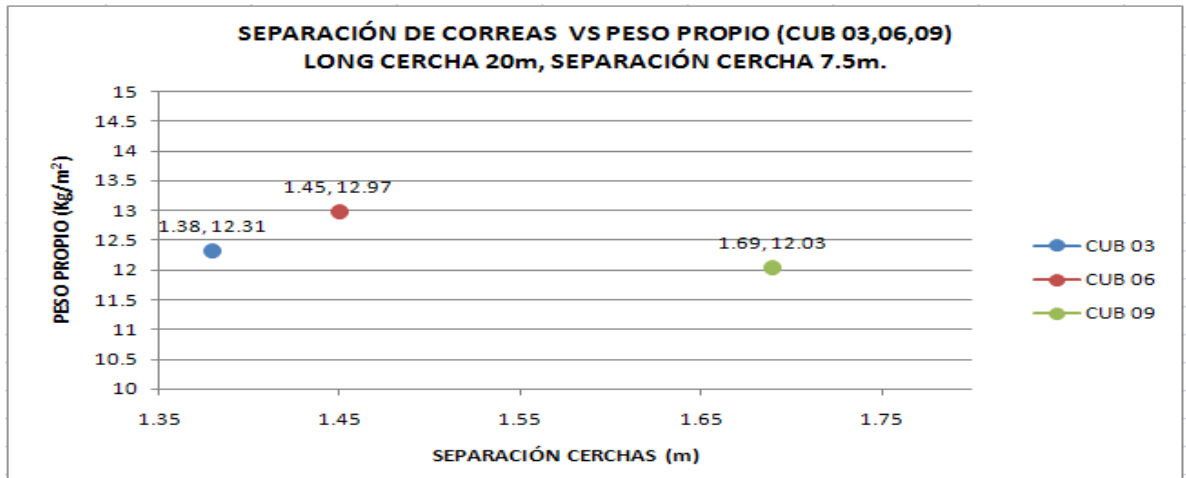
Figura 39. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 2, 5 y 8).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se puede apreciar que la separación de correas que menos peso propio genera es la de 1,69 m, esto para cubiertas con cerchas de longitud 20 m y separación entre ellas de 6 m.

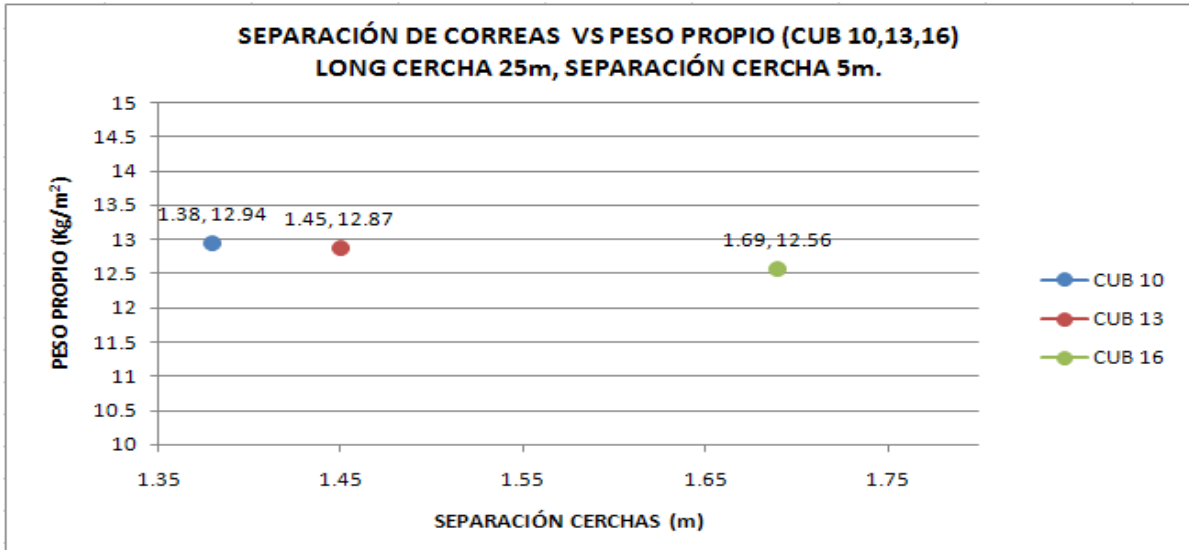
Figura 40. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 3, 6 y 9).



Fuente: Autor del proyecto

Esta gráfica indica que la separación de correas de 1,69 m es la separación que hace que se requiera el menor número de perlines y así mismo tener un menor peso propio, esto para cubiertas con cerchas de longitud 20 m y separación entre ellas de 7,5 m.

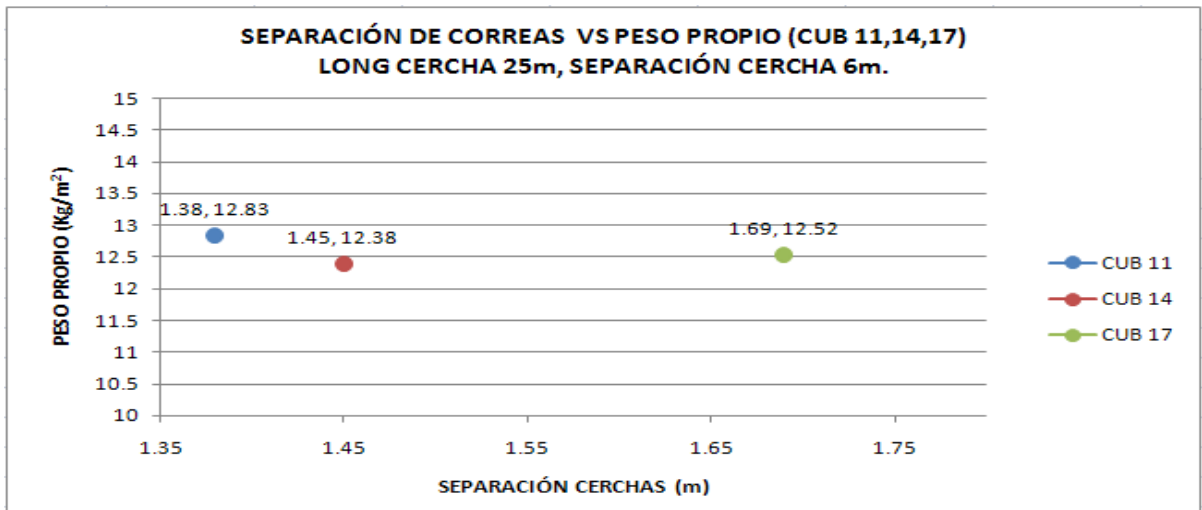
Figura 41. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 10, 13 y 16).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se observa que con una separación de cerchas de 5 m, la variación de peso propio con respecto a la separación de las correas no es muy notoria, esto para cubiertas con cerchas de longitud 25 m.

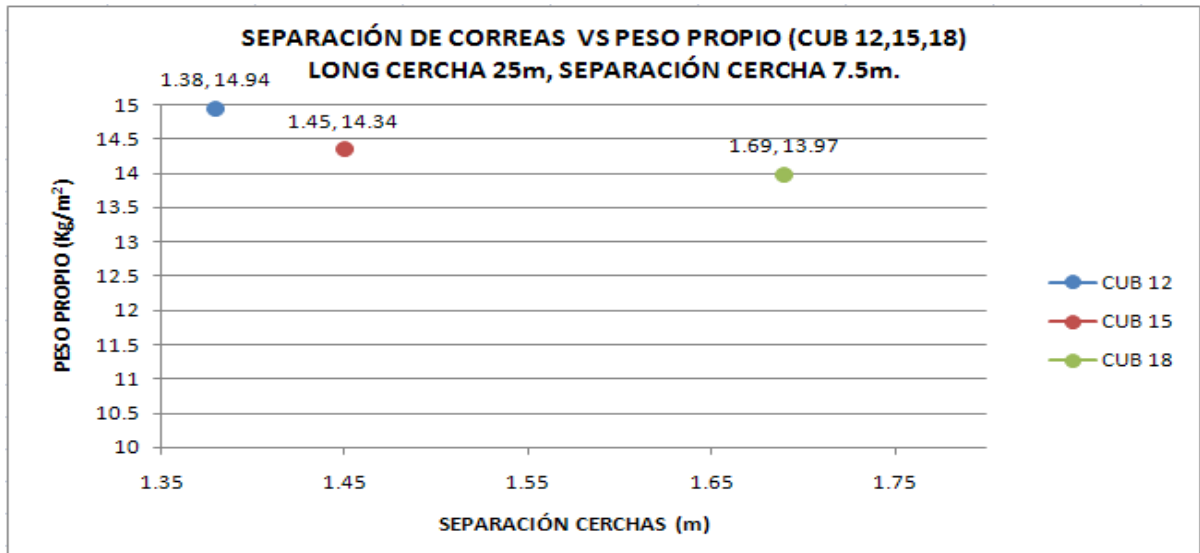
Figura 42. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 11, 14 y 17).



Fuente: Autor del proyecto

En esta gráfica se observa que la separación de correas de 1,45 m, es la separación que genera el menor peso propio para una longitud de cercha de 25 m y una separación de cerchas de 6 m.

Figura 43. Separación entre correas versus peso propio (cubiertas 12, 15, 18).



Fuente: Autor del proyecto

En esta figura se aprecia que la separación de correas de 1,69 m, es la separación que genera el menor peso propio a la estructura, para una longitud de cercha de 25 m y una separación de cerchas de 7,5 m. Esto se debe a que con esta separación de correas, se obtiene el menor número de correas requeridas.

6. CONCLUSIONES

- Inicialmente se puede decir que el aumento de peso propio es una relación directamente proporcional al aumento de la longitud de las cerchas.
- Es importante recalcar que el estudio realizado fue de gran importancia, ya que el peso propio real de las cubiertas es mayor que los pesos que se asumen habitualmente para el diseño de estas, lo que conlleva a deducir que probablemente se han cometido errores en el diseño de cubiertas metálicas de este tipo.
- Con respecto a lo anterior se puede afirmar que en las cubiertas con longitud de cerchas de 25 metros y separación de las mismas de 7,5 m el porcentaje de aumento del peso propio real con respecto al peso propio asumido incrementa hasta en un 49.4%, de lo que se puede concluir que se estaba utilizando un peso propio asumido erróneo para el diseño de estas.
- Según las gráficas 3 y 4 se puede decir que los elementos que mayor peso generan para la estructura son las cerchas y las correas, por tal motivo se debe tener gran cuidado a la hora de escoger los ángulos para el diseño de los mismos, sabiendo que lo más importante es diseñar cubiertas con el menor peso posible, puesto que el valor de las cubiertas metálicas depende del peso total de la mismas.
- Como conclusión de la gráfica 5 se puede afirmar que la separación de cerchas de 6 m es la separación apropiada para instalar en cubiertas con longitud de cerchas de 20 m y una distancia entre correas de 1,38 m.
- Al analizar la gráfica 6 se puede afirmar que la separación de cerchas de 6 m es la distancia que se tendría en cuenta para la instalación de cerchas en cubiertas con longitud de cerchas de 20 m y un separación de correas 1,45 m, aunque es importante hacer un análisis profundo con respecto a los costos de construcción.
- Para concluir con respecto a las cubiertas con cerchas de longitud 20 m, se puede decir que las separaciones de cerchas de 5 y 6 m, son las separaciones

que menor peso propio generan para la estructura, independientemente de la distancia que se utilice entre las correas, pero también se debe tener en cuenta el costo de materiales y de mano de obra, para así poder tomar la decisión adecuada.

- Como conclusión de la gráfica 8 se puede afirmar que a mayor distancia entre correas mayor es el peso propio de la estructura, esto se debe a que la relación número de cerchas versus peso propio es inversamente proporcional, ya que a menor número de cerchas mayores son los requerimientos en los elementos de las mismas, pero a su vez al utilizar esta separación de cerchas se utilizará un menor número de columnas, por lo tanto es necesario revisar las observaciones.
- Como conclusión de la gráfica 9 se puede decir que existe una diferencia notable entre los pesos propios cuando la separación de cerchas es mayor a 6 m, esto se debe a que el área aferente en cada nodo aumenta cuando disminuye el número de cerchas.
- Según la gráfica 10 se puede precisar que en cubiertas con cerchas de longitud 25 m y una distancia entre correas de 1,69 m, las separaciones entre cerchas que menor peso genera para la estructura son la de 5 y 6 m, pero se debe recordar que es importante hacer un análisis de precios con respecto a materiales y mano de obra.
- Como conclusión final de las cubiertas con cerchas de 25 metros de longitud las separaciones de cerchas que menor peso propio genera para la estructura son las de 5 y 6 m, independientemente de la distancia entre correas.
- De acuerdo al estudio realizado se puede precisar que el peso propio que se asume para el diseño de cubiertas metálicas (0.10KN/m^2), no es el adecuado para la realización de estos diseños, pues los resultados del estudio arrojan valores superiores.

7. RECOMENDACIONES

- A la hora de diseñar cubiertas tipo Pratt o Howe con cerchas de longitud de 20 m, es recomendable asumir un peso propio de 11kg/m^2 a 11.7 kg/m^2 , esto para separaciones de cerchas de 5 y 6 m, independientemente de la separación entre correas, y para separación de cerchas de 7.5 m es recomendable asumir un peso propio de 12kg/m^2 a 13 kg/m^2 , independientemente de la separación de las correas.
- Es recomendable asumir un peso propio de 12.4 kg/m^2 a 13 kg/m^2 , esto para cubiertas con cerchas de longitud 25 m y separaciones de cerchas de 5 y 6 m, independientemente de la separación entre correas, y para separación de cerchas de 7.5 m es recomendable asumir un peso propio de 14 kg/m^2 a 15 kg/m^2 , independientemente de la separación de las correas.
- Es recomendable hacer análisis de los precios de los materiales y la mano de obra, ya que la diferencia entre pesos propios de acuerdo a la separación de correas y cerchas no es exagerada, por lo tanto se debe considerar si es más económico trabajar con los menores pesos propios, o trabajar con los mayores pero teniendo en cuenta que se disminuye el número de columnas a construir.
- Importante a la hora de analizar la cerchas en el programa computacional, es tener en cuenta que los elementos diagonales trabajen a tensión, y así disminuir los requerimientos para estos, ya que a su vez se estaría disminuyendo el peso propio de la cubierta.
- Es importante resaltar a los diseñadores estructurales que después de realizar el diseño de cubiertas metálicas se debe calcular el peso propio de la misma y comprobar que este sea ligeramente menor al asumido para el diseño inmediatamente anterior.
- Se debe aclarar que el proceso de diseño para las cubiertas metálicas se rige por el sistema internacional (KN/m^2), pero el análisis de los pesos propios se muestran en Kg/m^2 debido a que los presupuestos para cubiertas metálicas se definen según el peso total de la misma.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. McCormac J. Análisis y diseño de estructuras metálicas método LRFD. México: Editorial Alfaomega, 1991
2. Segui W. *Diseño de Estructuras Metálicas con LRFD*, segunda edición. Editorial Thomson.
3. Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS). *Norma Colombiana Sismo Resistente 1998 (NSR-98)*.
4. *Manual of steel construction, load & resistance factor design (LRFD)*, American Institute of steel, construction, Inc (AISC), 1998.
5. Boresi A, Schmidt R. *Estática, Ingeniería Mecánica*. México: Editorial Thomson Learning, 2001. págs. 268-272.
6. Rodríguez B.J. Estimación del peso propio de cubiertas metálicas con teja liviana a dos aguas para diferentes modulaciones en el área metropolitana de Bucaramanga [TESIS].2008
7. Castillo M. *Guía para la formulación de proyectos de investigación*. Bogotá: Editorial Alma Mater Magisterio, 2004.
8. Armaduras y su eficiencia estructural [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.arqhys.com/tutoriales/2009/11/armaduras-y-su-eficiencia-estructural.html>. Consultado: 24 de Octubre de 2009.
9. Estructuras Metálicas Ventajas y desventajas [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://mixty.blogspot.com/2006/09/estructura-metlica-ventajas.html>. Consultado: 24 de Octubre de 2009.

ANEXO A. DISEÑO TIPO DE LOS ELEMENTOS DE LAS CUBIERTAS

DISEÑO DE ELEMENTOS CUBIERTA 1 (conexiones soldadas)

DISEÑO DE ELEMENTOS A TENSION

DISEÑO DEL CORDON INFERIOR (dos ángulos espalda con espalda)

$P_u = 136.434 \text{ KN}$

*Estado limite de fluencia:

$$P_u = \phi * f_y * A_g$$

Angulo L 2" x 2" x 1/8"

PU =	136.434	KN
Fy =	248	MPa
Ag =	3.12	Cm ²
Φ =	0.90	
PU = 139.28 KN		

*Estado limite de fractura:

$$P_u = \phi * f_u * A_e$$

PU =	136.434	KN
Fu =	400	MPa
Φ =	0.75	
U =	0.87	
Ag =	3.12	Cm ²
PU = 162,86 KN		

DISEÑO DE DIAGONALES (dos ángulos espalda con espalda)

$P_u = 64,217 \text{ KN}$

*Estado limite de fluencia:

$$P_u = \phi * f_y * A_g$$

Angulo L 1 ½" x 1 ½" x 1/8"

PU =	64.217	KN
Fy =	248	MPa
Ag =	2.32	Cm ²
Φ =	0.90	
PU = 103.56 KN		

*Estado limite de fractura:

$$P_u = \phi * f_u * A_e$$

PU =	136.434	KN
Fu =	400	MPa
Φ =	0.75	
U =	0.87	
Ag =	3.12	Cm ²
PU = 162,86 KN		

DISEÑO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN

MONTANTES MÁS CARGADOS (dos ángulos espalda con espalda)

$$P_u = 1335,186 \text{ KN}$$

Perfil L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"
Sección no atiesada
No perfiles 2

$$b = 1,5 \text{ pg}$$
$$t = 1/8 \text{ pg}$$
$$\text{Area} = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$b/t = 12 \rightarrow Q_s = 1,0$$
$$200 / F_y^{1/2} = 12,70$$

$$\lambda_c = \boxed{0,427} \text{ pan inelástico}$$

$$F_r = \boxed{229,778} \text{ MPa}$$

$$P_u = 35,186 \text{ KN}$$
$$F_y = 248 \text{ MPa}$$
$$K = 1$$

$$L = 0,45 \text{ m}$$
$$E = 200000 \text{ MPa}$$
$$\Phi = 0,85$$
$$\text{Area} = 4,64 \text{ cm}^2$$
$$I_x = 6,5 \text{ cm}^4$$
$$I_y = 16,434 \text{ cm}^4$$
$$r_x = 1,18 \text{ cm}$$
$$r_y = 1,88 \text{ cm}$$
$$K^*L / r_x = \boxed{38,135} \text{ OK}$$

$$P_u = \boxed{90,624} \text{ KN}$$

MONTANTES MÁS LARGOS (dos ángulos espalda con espalda)

$$P_u = 20,244 \text{ KN}$$

Perfil L 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"
Sección no atiesada
No perfiles 2

$$b = 1,5 \text{ pg}$$
$$t = 1/8 \text{ pg}$$
$$\text{Area} = 2,32 \text{ cm}^2$$

$$b/t = 12 \rightarrow Q_s = 1,0$$
$$200 / F_y^{1/2} = 12,70$$

$$\lambda_c = \boxed{1,966} \text{ pan elástico}$$

$$F_r = \boxed{48,614} \text{ MPa}$$

$$P_u = 20,244 \text{ KN}$$
$$F_y = 248 \text{ MPa}$$
$$K = 1$$

$$L = 2,07 \text{ m}$$
$$E = 200000 \text{ MPa}$$
$$\Phi = 0,85$$
$$\text{Area} = 4,64 \text{ cm}^2$$
$$I_x = 6,5 \text{ cm}^4$$
$$I_y = 16,434 \text{ cm}^4$$
$$r_x = 1,18 \text{ cm}$$
$$r_y = 1,88 \text{ cm}$$
$$K^*L / r_x = \boxed{175,42} \text{ OK}$$

$$P_u = \boxed{22,19} \text{ KN}$$

DISEÑO DE CORDON SUPERIOR (dos ángulos espalda con espalda)

Pu = 139,50 KN

Perfil L 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"
 Sección no atiesada
 No perfiles 2

Pu = 139,50 KN
 Fy = 248 MPa
 K = 1

b = 2,5 pg
 t = 3/16 pg
 Area = 5,81 cm²

L = 1,38 m
 E = 200000 MPa
 Φ = 0,85
 Area = 11,62 cm²
 Ix = 45,52 cm⁴
 Iy = 110,594 cm⁴
 rx = 1,98 cm
 ry = 3,08 cm

b / t = 13,33 → Qs = 0,983
 200 / Fy1/2 = 12,70

K*L / rx = 69.69 OK

λc = 0.781 pan inelástico

Fr = 189.68 MPa

Pu = 187,351 KN

CORDON INFERIOR	TENSION	∟ 2 ANGULOS	2" X 2" X 1/8"
CORDON SUPERIOR	COMPRESION	∟ 2 ANGULOS	2 1/2" X 2 1/2" X 3/16"
DIAGONALES	TENSION	∟ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"
MONTANTES	COMPRESION	∟ 2 ANGULOS	1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"

DISEÑO DE CORREAS

Separación correas = 1,38 m
 CM = 0,347 KN/m²

Separación cerchas = 5
 CV = 0,35 KN/m²

Separación tirantes = 1,67 m

$Wu = (1.2 \times 0.347 \text{ KN} / \text{m}^2 \times 1.38 \text{ m}) + (1.4 \times 0.35 \text{ KN} / \text{m}^2 \times 1.38 \text{ m})$

Wu = 1,251 KN/m

$Mu^+ = \frac{W \times L^2}{8}$

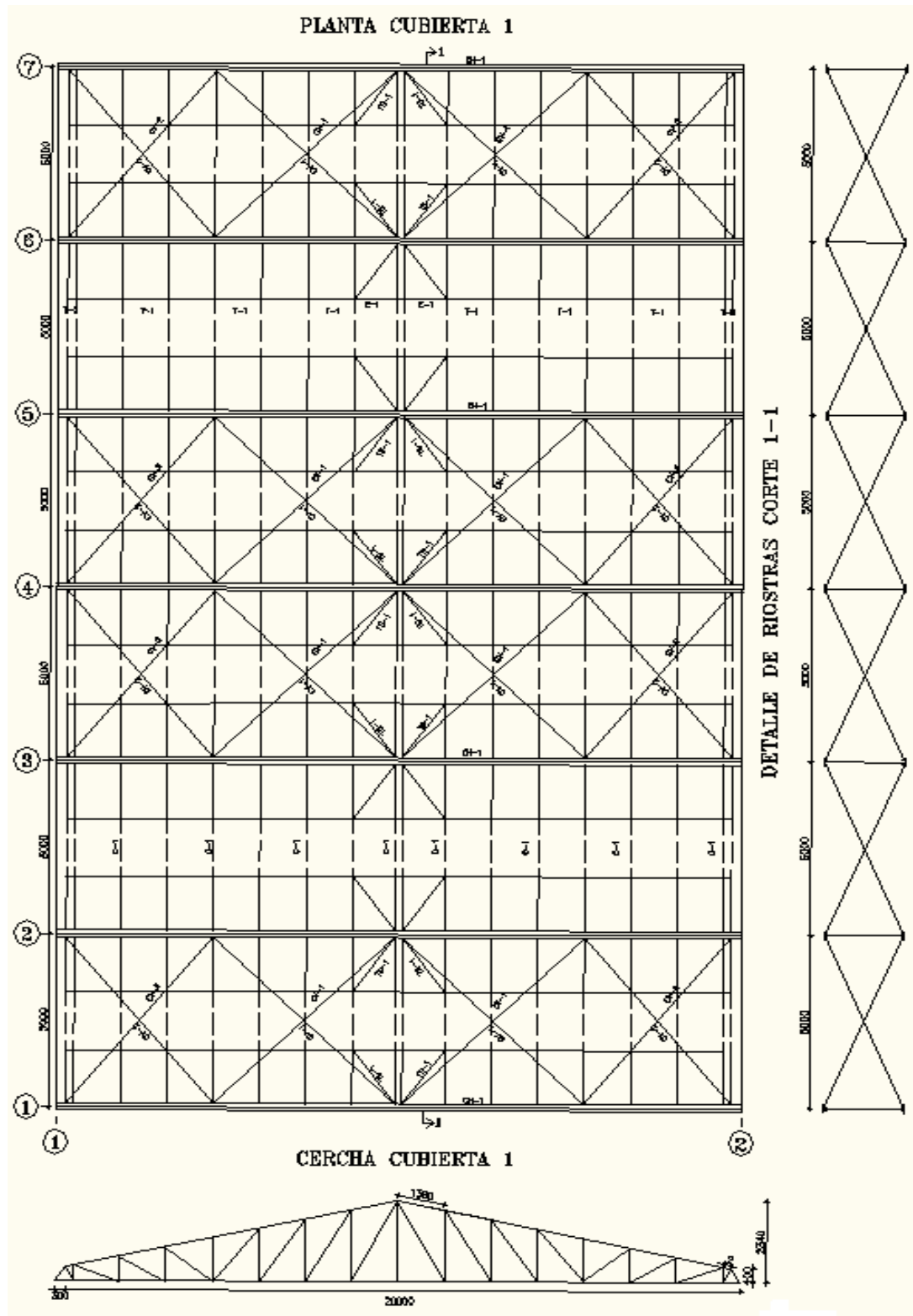
Mu+ = 3,908 KN*m

Lb = 1,67 m

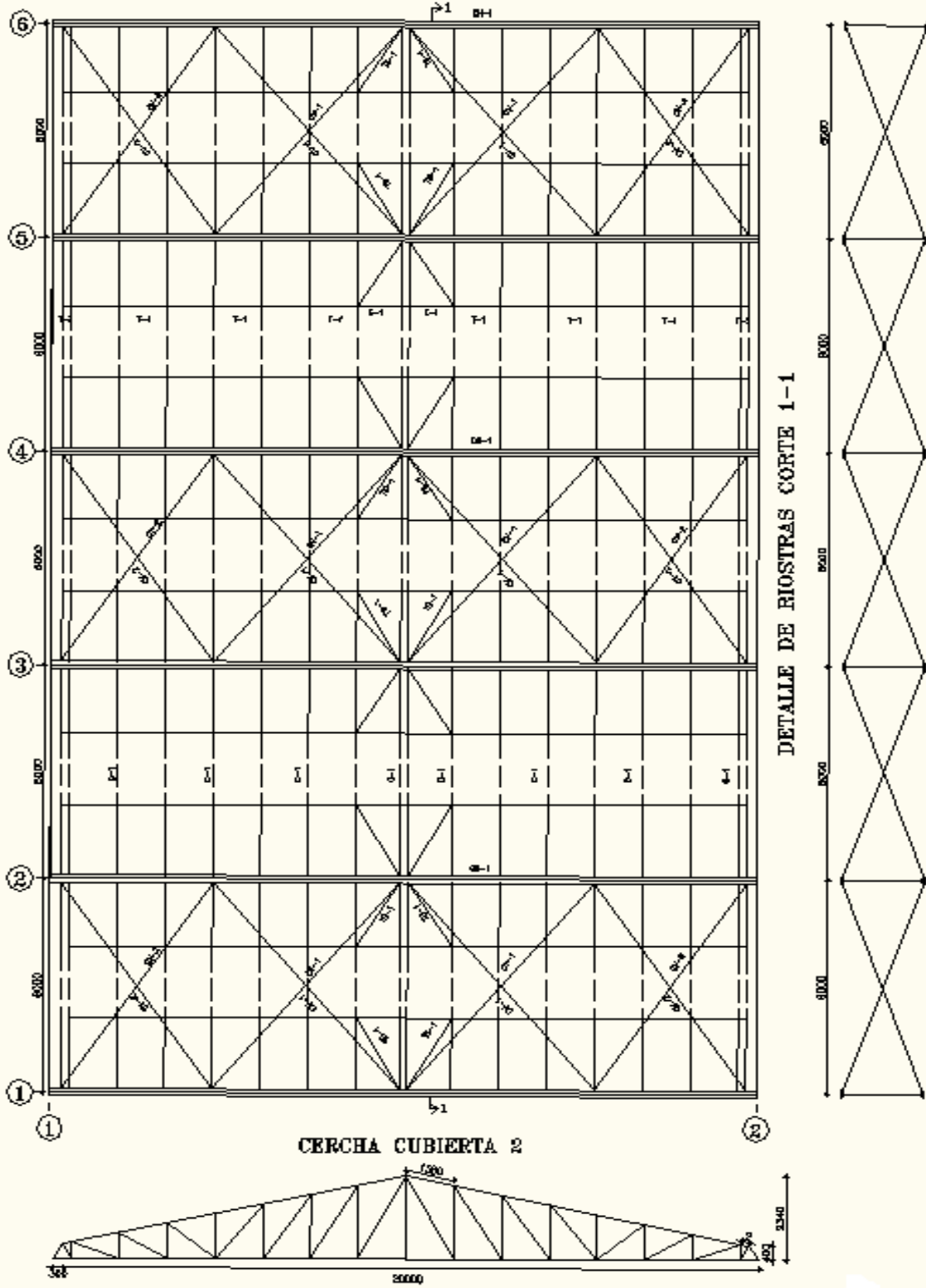
P6 x 2 x 1,5

WG = 4,27 Kg/m

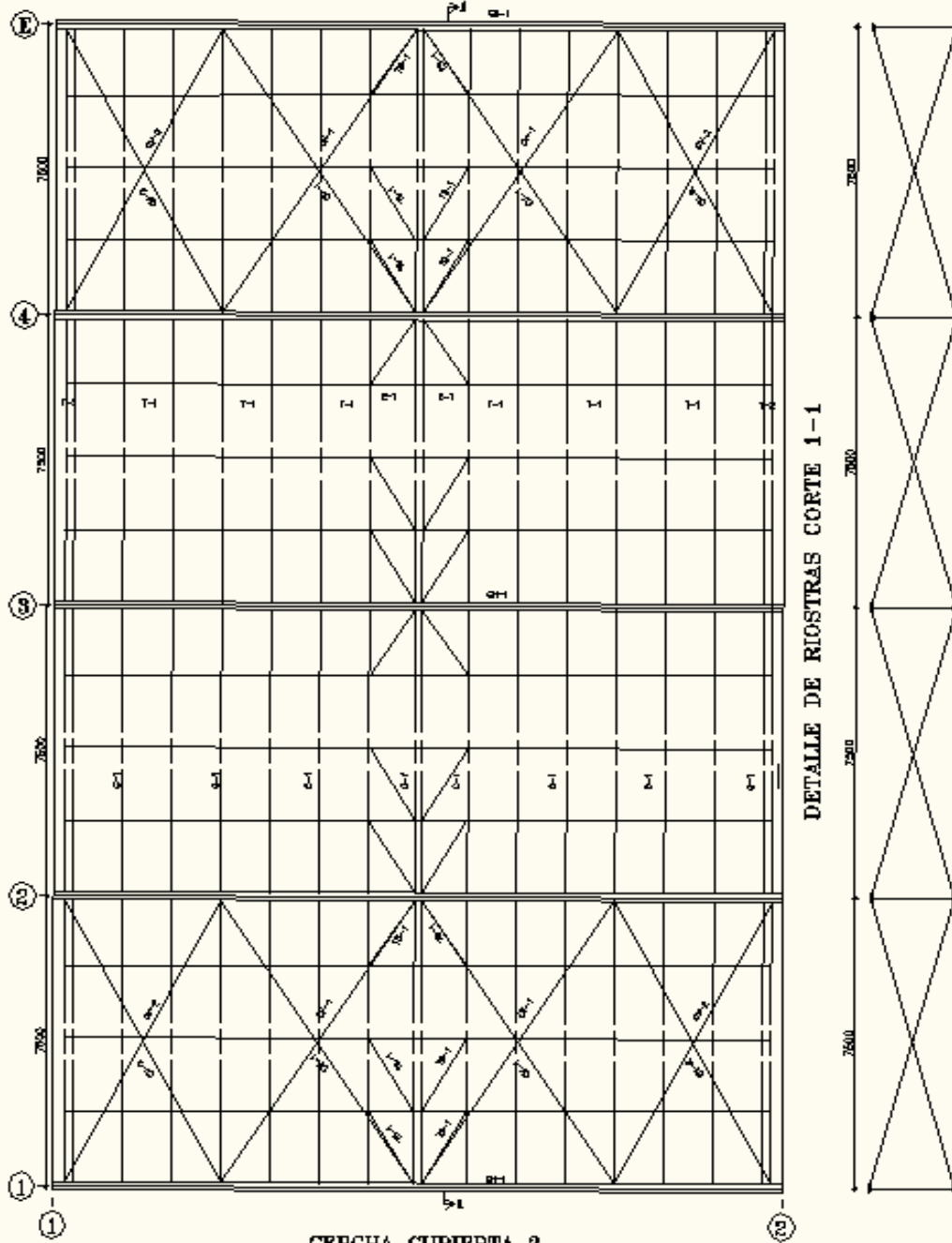
ANEXO B: PLANTA Y CORTE DE LAS CUBIERTAS



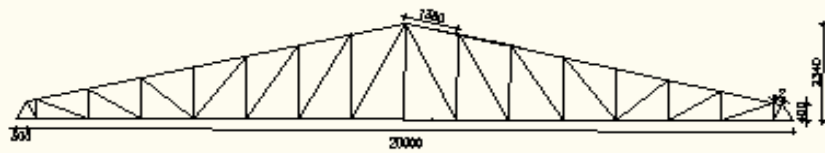
PLANTA CUBIERTA 2



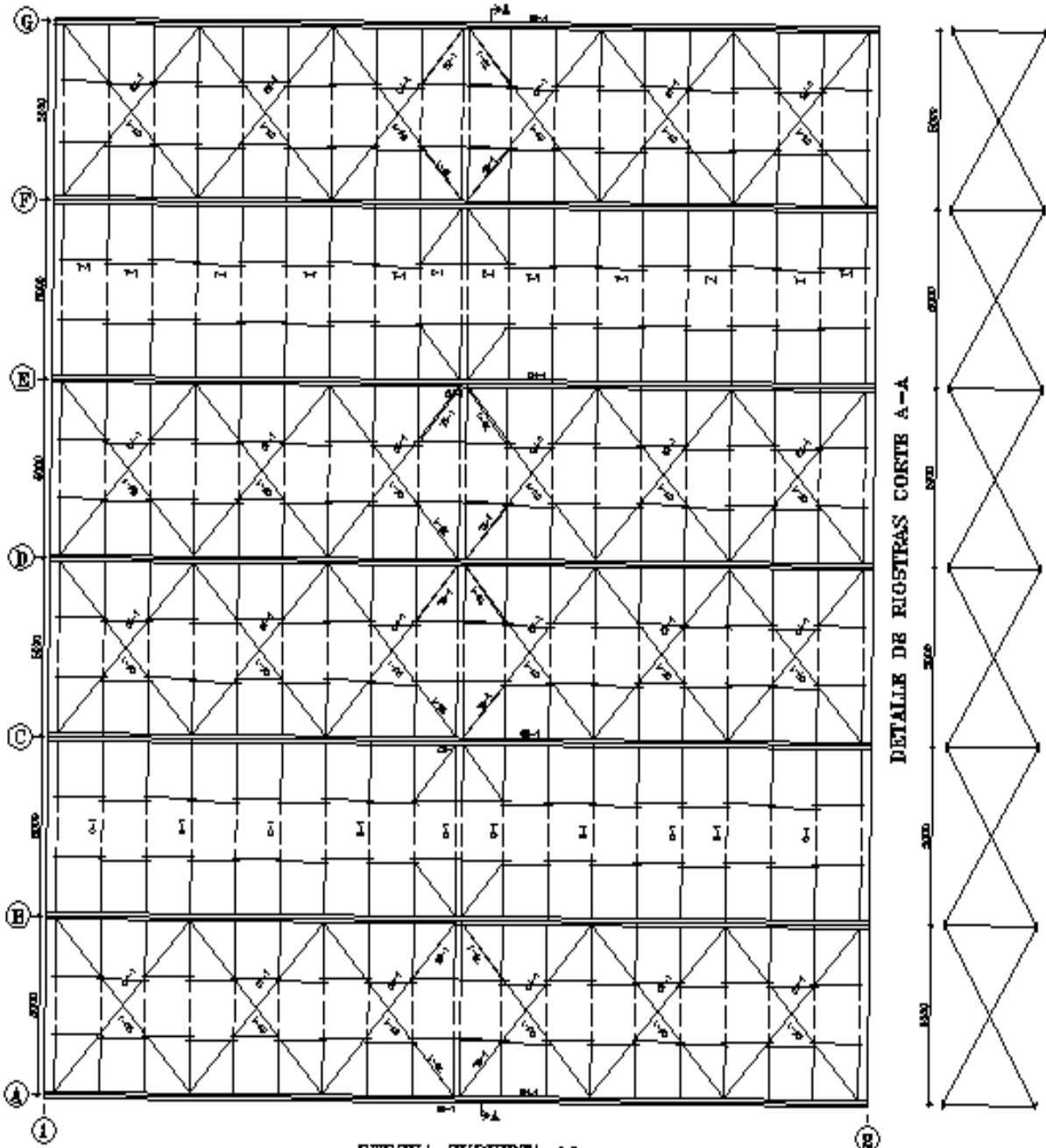
PLANTA CUBIERTA 3



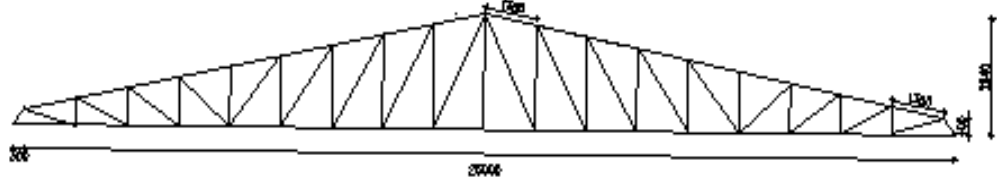
CERCHA CUBIERTA 3



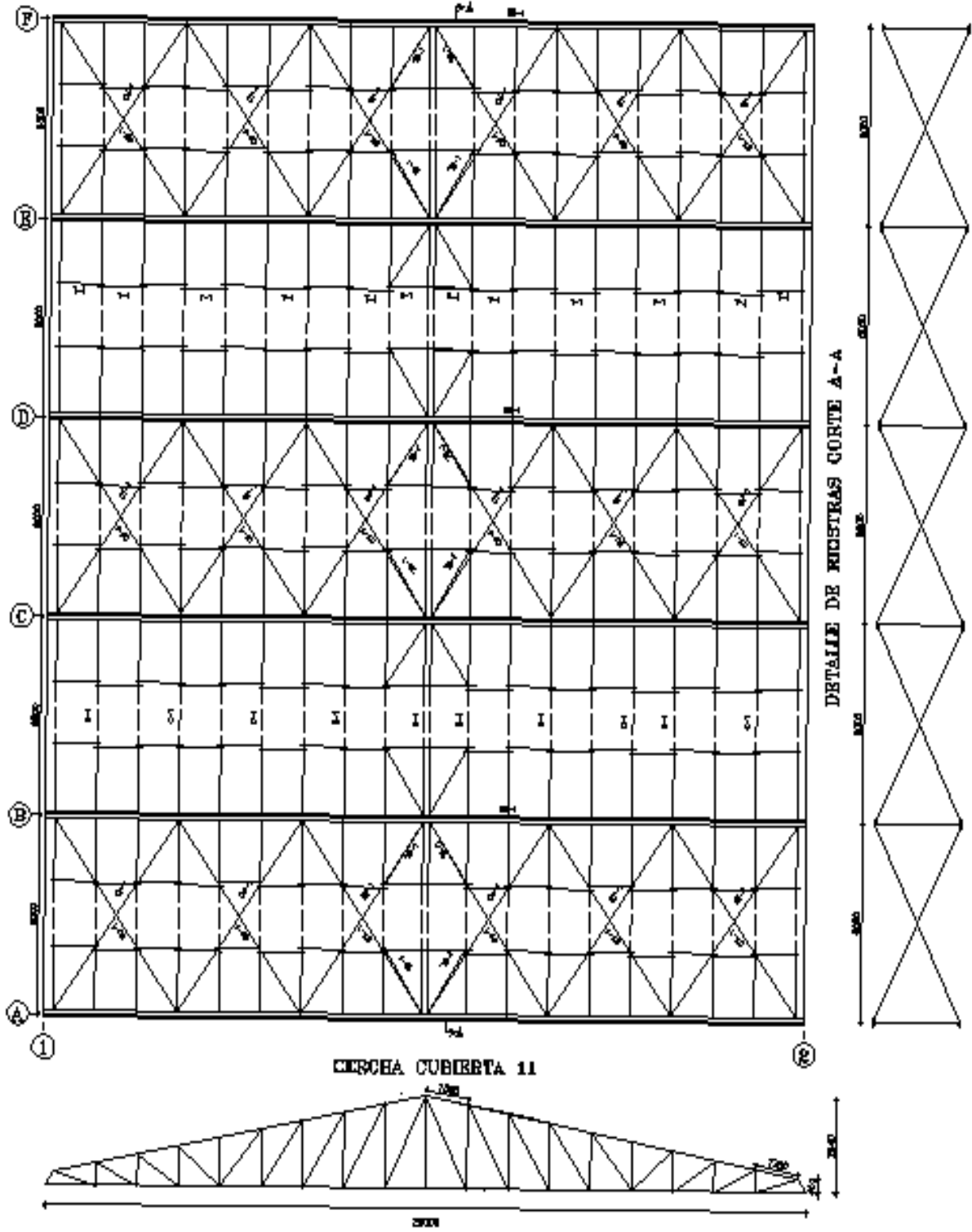
PLANTA CUBIERTA 10



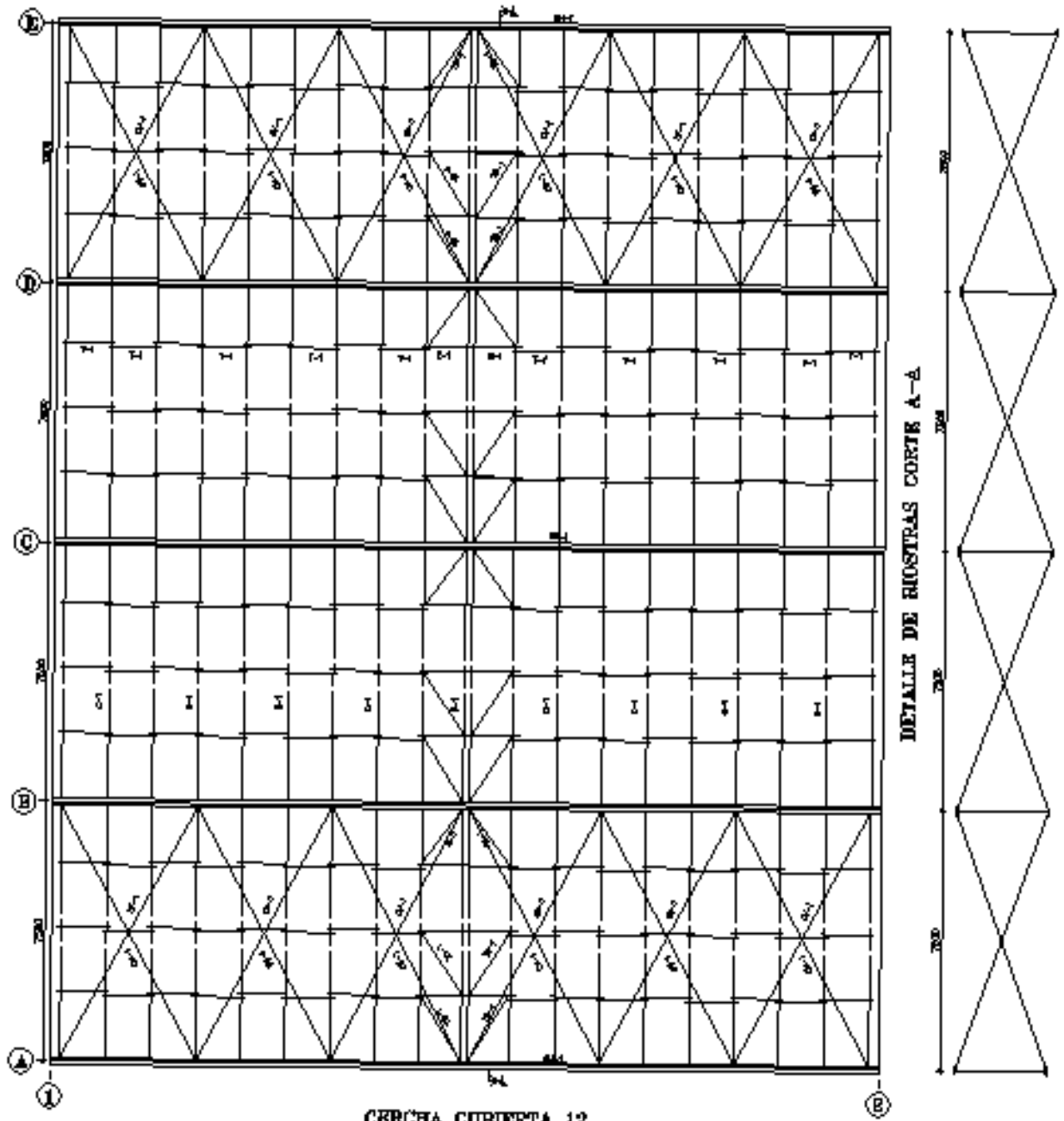
CERCHA CUBIERTA 10



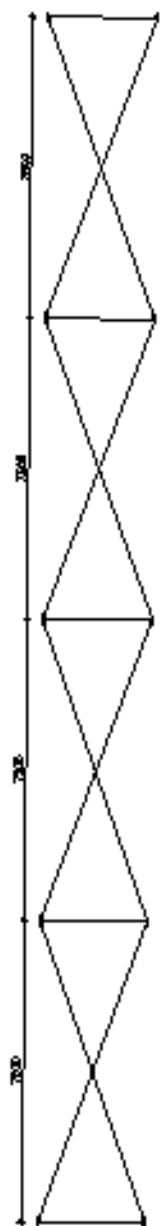
PLANTA CUBIERTA 11



PLANTA CUBIERTA 12



DETALLE DE BASTIDAS CORTE A-A



CERCHA CUBIERTA 12

