

**Propuesta de una Cubierta Liviana para un Polideportivo Cubierto Cancha Múltiple en
Bucaramanga, Enfocado en el Aprovechamiento de Agua Lluvia**

Mario Andrés Bello Leal

Trabajo de Grado para optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Jherson Mauricio Suarez Santo

Magister en Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2021

Dedicatoria

Este título va dedicado a mi madre, María del Carmen Leal Suarez; a mi padre, Rogers Bello Blanco; a mi hermana, Marcela Bello Leal y a mi tío Diego Leal Suarez; ya que siempre fueron esas personas que me apoyaron y motivaron durante toda esta etapa que está por culminar.

Agradecimientos

A mi familia, por ser el principal motivo de motivación y superación durante todo el proceso universitario.

A mis compañeros de facultad, con los cuales compartí y viví varias experiencias que serán inolvidables.

A todos los docentes de la facultad, por ese trabajo y disposición a la hora de compartir su conocimiento y de siempre estar dispuestos a ayudar.

A todos ellos, ¡gracias totales!

Contenido

	Pág.
1. Propuesta de una Cubierta Liviana para un Polideportivo Cubierto Cancha Múltiple en Bucaramanga, Enfocado en el Aprovechamiento de Agua Lluvia	19
1.1 Descripción del Problema	19
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
2. Marco Referencial.....	23
2.1. Localización y Descripción del Proyecto.	23
2.1.1. Características Globales de la Estructura	24
2.2. Características Climatológicas de Bucaramanga	25
2.2.1. Precipitación	26
2.2.2. Información Pluviométrica.	28
2.2.2. Hidrología y Relaciones Oferta y Demanda.....	28
2.3 Sistemas de Captación y Recolección de Aguas Pluviales	29
2.3.1. Captación	31
2.3.2 Recolección y Conducción.	32
2.3.3 Filtración.....	33
2.3.4 Interceptor de Primeras Aguas	36
2.3.5. Almacenamiento	37
2.3.6 Red de Distribución	38

2.3.7 Sistemas de Bombeo.....	40
2.3.8 Mantenimiento de los Sistemas de Captación	41
2.4 Sistema Estructural de la Cubierta para la Cancha Polideportiva	42
2.4.1 Sistema Reticulado de Pórticos	43
2.4.2 Estructuras Articuladas o Armaduras	44
2.4.3 Cubierta Liviana a Dos Aguas.....	46
2.4.4 Elementos que Conforman el Sistema Estructural de la Cubierta.....	47
2.4.5 Conexiones	48
2.4.6 Aspectos para el Diseño Estructural de la Cubierta	49
2.4.7 Modelamiento de la Estructura.....	50
2.5 Presupuesto en un Proyecto de Obra.....	50
2.5.1 Costos Directos.....	51
2.5.2 Costos Indirectos	51
2.5.3 Análisis de Precios Unitarios.....	51
2.5.4. Diagrama de Pareto	52
2.6. Marco Normativo	52
3. Metodología	53
3.1 Fase Uno. Diseño Estructural de la Cubierta	54
3.1.1 Predimensionamiento de los Elementos Estructurales	55
3.1.2 Análisis de Cargas	56
3.1.3 Modelamiento y Diseño en CYPE3D.....	57
3.1.4 Memorias de Cálculo y Planos	57
3.2 Fase Dos. Diseño del Sistema de Captación.	57

3.2.1 Determinación de la Precipitación Promedio Mensual	58
3.2.2 Cálculo de la Demanda de Agua Lluvia	58
3.2.3 Determinación de la Oferta de Agua Lluvia y Volumen del Tanque de Almacenamiento	58
3.2.4 Determinación del Área de Captación.....	59
3.2.5 Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.....	59
3.2.6 Sistema de Recolección y Conducción.....	60
3.2.7 Sistema Interceptor de Primeras Aguas.....	62
3.2.8 Diseño de Bajantes y Canaletas	62
3.2.9 Memorias de Cálculo y Planos	63
3.3 Fase Tres. Presupuesto	63
3.3.1 Cantidades de Obra.....	63
3.3.2 Análisis de Precios Unitarios.....	63
3.3.3 Presupuesto del Proyecto.....	63
3.3.4. Diagrama de Pareto	64
4. Resultados	64
4.1 Fase Uno. Diseño Estructural de la Cubierta	64
4.1.1 Predimensionamiento de los Elementos Estructurales	65
4.1.2 Análisis de Cargas	70
4.1.3. Diseño de Conexiones	73
4.1.4. Modelamiento en CYPE3D	78
4.1.5. Planos Estructurales.....	80
4.2. Fase Dos. Diseño del Sistema de Captación	80

4.2.1. Determinación de la Precipitación Promedio Mensual	80
4.2.2. Cálculo de la Demanda de Agua Lluvia	81
4.2.3. Cálculo de la Oferta de Agua Lluvia y Volumen del Tanque de Almacenamiento	82
4.2.4. Determinación del Área de Captación.	83
4.2.5. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.	83
4.2.6. Sistema de Recolección y Conducción.....	85
4.2.7. Sistema Interceptor de Primeras Aguas	88
4.2.8. Diseño de Bajantes y Colectores	89
4.2.9. Planos del Sistema de Captación	92
4.3. Presupuesto.....	92
4.3.1. Cantidades de Obra.....	93
4.3.2. Análisis de Precios Unitarios.....	94
4.3.3. Presupuesto	95
4.3.4. Diagrama de Pareto	96
5. Conclusiones	97
Referencias.....	99

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Valores de Referencia para el Coeficiente de Escorrentía</i>	31
Tabla 2. <i>Normativa Usada para el Desarrollo del Proyecto</i>	53
Tabla 3. <i>Dimensionamiento de Principales Bajantes de Agua Lluvia</i>	61
Tabla 4. <i>Propiedades Mecánicas del Acero</i>	65
Tabla 5. <i>Datos Generales de las Correas.</i>	69
Tabla 6. <i>Datos Generales del Análisis Sísmico.</i>	72
Tabla 7. <i>Soldaduras</i>	74
Tabla 8. <i>Placas de Anclaje</i>	74
Tabla 9. <i>Componentes de la Cubierta</i>	79
Tabla 10. <i>Precipitación Promedio Mensual</i>	80
Tabla 11. <i>Dotación Máxima por Habitante</i>	81
Tabla 12. <i>Demanda Mensual de Agua Lluvia</i>	82
Tabla 13. <i>Capacidad Máxima en Bajantes.</i>	90
Tabla 14. <i>Dimensiones para la Tubería Horizontal de Agua Lluvia.</i>	91
Tabla 15. <i>Cálculo de las Dimensiones de Bajantes y Colectores.</i>	92
Tabla 16. <i>Cantidades de Obra.</i>	93
Tabla 17. <i>Análisis de Precios Unitarios</i>	94
Tabla 18. <i>Presupuesto del Proyecto</i>	95
Tabla 19. <i>Porcentaje de Incidencia de los Materiales para el Proyecto.</i>	97

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Precipitación Promedio Anual en Bucaramanga</i>	21
Figura 2. <i>Localización de Bucaramanga</i>	23
Figura 3. <i>Localización del Proyecto</i>	24
Figura 4. <i>Vista Frontal de la Cubierta Liviana</i>	25
Figura 5. <i>Temperatura promedio anual en Bucaramanga</i>	26
Figura 6. <i>Componentes de un Sistema de Captación</i>	30
Figura 7. <i>Superficie de Captación de Agua Lluvia</i>	32
Figura 8. <i>Canales para la Recolección de Agua Lluvia</i>	33
Figura 9. <i>Filtro de Bajante</i>	34
Figura 10. <i>Posibles Ubicaciones para el Filtro de Cesta</i>	35
Figura 11. <i>Filtro Centrífugo</i>	35
Figura 12. <i>Sistema Interceptor de Primeras Aguas</i>	37
Figura 13. <i>Tanque de Almacenamiento de Agua</i>	38
Figura 14. <i>Sistema de Distribución con una Fuente Suplementaria</i>	39
Figura 15. <i>Ejemplo de Cubierta en un Polideportivo</i>	43
Figura 16. <i>Sistema Reticulado de Pórticos</i>	44
Figura 17. <i>Cerchas Empleadas Generalmente en Cubiertas</i>	45
Figura 18. <i>Cubierta a Dos Aguas y sus Partes</i>	46
Figura 19. <i>Componentes de una Cubierta</i>	48
Figura 20. <i>Metodología Propuesta para el Diseño del Proyecto</i>	54
Figura 21. <i>Filtro de Bajante</i>	62

Figura 22. <i>Predimensionado de la Cubierta.....</i>	66
Figura 23. <i>Normativa para el Cálculo de la Sobrecarga de Viento.</i>	67
Figura 24. <i>Datos Generales para el Predimensionamiento de las Correas.....</i>	68
Figura 25. <i>Dimensionamiento de las Correas.</i>	69
Figura 26. <i>Espectro de Cálculo</i>	71
Figura 27. <i>Especificaciones Teja Master 1000.....</i>	73
Figura 28. <i>Detalle de Soldadura Tipo 1.</i>	75
Figura 29. <i>Detalle de Soldadura Tipo 2.</i>	76
Figura 30. <i>Detalle de Soldadura Tipo 3.</i>	77
Figura 31. <i>Detalles Placas de Anclaje</i>	78
Figura 32. <i>Modelamiento de la Cubierta en 3D</i>	79
Figura 33. <i>Determinación del Volumen del Tanque de Almacenamiento</i>	83
Figura 34. <i>Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.</i>	84
Figura 35. <i>Tanque de Almacenamiento para el Sistema de Captación.</i>	84
Figura 36. <i>Ficha Técnica Tanque de Almacenamiento</i>	85
Figura 37. <i>Curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia - IDF. Estación: Universidad Industrial de Santander</i>	86
Figura 38. <i>Periodo de Retorno para el Cálculo de Bajantes.....</i>	86
Figura 39. <i>Dimensionamiento de Desagües Principales de Cubierta, Ramales y Bajantes de Agua Lluvia.</i>	87
Figura 40. <i>Curvas de Intensidad Duración Frecuencia en LPS/Ha</i>	88
Figura 41. <i>Filtro de Bajante de BioClean.....</i>	89
Figura 42. <i>Diagrama de Pareto</i>	96

Lista de Apéndices

Nota: Los siguientes documentos se encuentran en archivos externos a este documento.

Apéndice A. Dimensionamiento de las Correas de la Cubierta.

Apéndice B. Análisis de Cargas de la Cubierta.

Apéndice C. Planos Estructurales de la Cubierta.

Apéndice D. Planos del Sistema de Agua Lluvia en la Cubierta.

Resumen

Este documento describe el diseño de una cubierta liviana para un polideportivo cancha múltiple en cual incluye un sistema de captación de agua lluvia en el municipio de Bucaramanga. El trabajo consta de los análisis teóricos de la estructura propuesta, diagnostico climático del municipio, el diseño de los elementos estructurales que fueron propuestos en estructuras metálicas con cubierta liviana ,el diseño del sistema de recolección de agua pluvial que a través de la cubierta de 770 m² captara el agua y el diseño del resto de los componentes del sistema junto al tanque de almacenamiento. A este diseño se le calculó el presupuesto de obra con el objetivo de conocer que tan viable puede ser la construcción de este tipo de escenarios en el municipio.

Palabras Clave: Sistema de captación, agua lluvia, cubierta, pluvial, celosía, cercha, estructura metálica, presupuesto.

Abstract

This document describes the design of a light roof for a multi-court sports center which includes a rainwater harvesting system in the municipality of Bucaramanga. The work consists of the theoretical analyses of the proposed structure, climatic diagnosis of the municipality, the design of the structural elements that were proposed in metal structures with light cover, the design of the rainwater collection system that through the 770 m² cover will capture the water and the design of the rest of the components of the system next to the storage tank. This design was calculated the budget of work in order to know how viable the construction of this type of scenarios in the municipality can be.

Keywords: Rainwater harvesting system, rainwater, roof, rainwater, lattice, truss, metal structure.

Glosario

Acero estructural: Se denomina acero estructural a una categoría de acero utilizado como material de construcción para la fabricación de perfiles de acero estructural.

Análisis de precios unitarios: Es un modelo matemático que estima el costo por unidad de medida de una partida.

Arquímedes: Es un generador de presupuestos en el que se realizará el cálculo de los costos del proyecto.

Bajante: Tubería de desagüe que recoge las aguas residuales de una edificación.

Canaleta: Es un conducto que recibe y conduce el agua de los tejados a la red de recogida de aguas pluviales.

Cantidades de Obra: Se le denomina cantidades de obra a todas aquellas cantidades de materiales que involucran los costos de una determinada obra.

Caudal: Cantidad de un fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Captación: Técnica de recolección y almacenamiento de agua pluvial en tanques o embalses naturales.

Celosía: Consiste en un muro o elemento vertical no sólido, que permite la vista de un lado hacia el otro al constituirse de bloques, piezas o listones que se conectan formando vacíos entre sí.

Cercha: Estructura o armadura de cubierta que sirve de base para la construcción de arcos, bóvedas y otras estructuras.

Cordón inferior: Es la pieza horizontal de una cercha encargada de soportar y transferir las cargas a los apoyos, esta pieza une el extremo inferior de los pares o cuerdas superiores impidiendo su separación.

Cordón superior: Pueden ser una o dos piezas que están inclinadas que forman en conjunto las aguas de la cercha.

Correa: Son elementos de la cercha que van en dirección perpendicular al cordón superior, se apoyan y transmiten las cargas a estos.

Cubierta: Estructura de cierre superior, que sirve como cerramiento exterior, cuya función fundamental es ofrecer protección al edificio contra los agentes climáticos y otros factores.

CYPECAD: Esta aplicación permite el cálculo de estructuras de hormigón y de estructuras metálicas.

Estructura: Conjunto de elementos, unidos, ensamblados o conectados entre sí, que tienen la función de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo.

Generador de pórticos: Permite el cálculo sencillo de pórticos para estructuras diseñadas con este tipo de sistema constructivo, facilitando el cálculo de correas de cubiertas y cargas de viento y nieve.

Hidráulica: Parte mecánica que estudia el equilibrio y movimiento de los fluidos.

Hidrología: Estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie terrestre de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera.

Hidrológico: De la hidrología o relacionado a ella

Montante: Elemento vertical que une un punto del cordón superior con el cordón inferior en una cercha.

Perfil metálico: Materiales que se crean a partir de la obtención de un laminado en caliente del acero, fabricados usualmente para ser empleados en estructuras de edificación o de obra civil.

Pluvial: De la lluvia o relacionado a ella.

Polideportivo cancha múltiple: Dicho de un lugar, de una instalación, etc.; Destinados al ejercicio de varios deportes.

Precio unitario: Es el importe de la remuneración o pago total que debe cubrirse al contratista por unidad de concepto terminado y ejecutado conforme al proyecto, especificaciones de construcción y normas de calidad.

Precipitación: Fenómeno meteorológico que consiste en la caída sobre la superficie terrestre de la humedad procedente de la atmósfera en estado sólido o líquido.

Predimensionamiento: Conjunto de técnicas que permiten calcular elementos estructurales de ingeniería de manera sintetizada.

Presupuesto: Cálculo anticipado del coste de una obra o un servicio.

Introducción

La gestión del agua sostenible puede plantearse en dos puntos de vista diferente, desde la minimización de los vertidos a medios receptores en tiempos de lluvia, como de ser usado como un recurso para diferentes tareas donde la calidad del agua no sea tan necesaria[1]. La Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992, definió que toda forma de desarrollo sostenible debe generar crecimiento económico, equidad social y conservación ambiental, y, por ende, debe estar ligado a la concepción de infraestructura sostenible[2]. Por esta razón, es necesario establecer nuevas opciones de suministro de agua, las cuales logren interactuar eficazmente con el medio ambiente.

El incremento de la conciencia medioambiental y la introducción en la gestión del agua genera que cada se creen diferentes medios alternativos que permitan satisfacer los diferentes usos que se le da al agua en la sociedad. El aprovechamiento de agua lluvia se tiene cada vez más en cuenta, sobre todo en países como Alemania, Estados Unidos, Japón o Francia[1].

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, se utilizan para emplear el agua que se recolecta a través de las cubiertas de las estructuras en labores de uso doméstico como riego de zonas verdes, aseo de zonas comunes o para ser usado en los sanitarios y orinales[2]. Esto con el fin de generar un impacto tanto ambiental como económico debido a la alta contaminación de las fuentes hídricas y a los elevados costos por el consumo de agua potable en instalaciones municipales.

En este documento viene definido por el diseño de un sistema de captación de agua lluvia en una cubierta liviana para un polideportivo de cancha múltiple en la ciudad de Bucaramanga que se plantea en una estructura metálica. Este sistema de recolección utilizará la cubierta como

captador que mediante canales transportaran el agua lluvia hacia un tanque de recolección para que luego pueda ser reutilizada en otras actividades.

1. Propuesta de una Cubierta Liviana para un Polideportivo Cubierto Cancha Múltiple en Bucaramanga, Enfocado en el Aprovechamiento de Agua Lluvia

1.1 Descripción del Problema

En Colombia, el agua lluvia es vista más como un problema que como un recurso, debido que el drenaje urbano tradicionalmente es diseñado para agrupar ligeramente las aguas pluviales y transportarla fuera de los cascos urbanos. Así mismo, a causa del aumento de superficies impermeable en las ciudades, los sistemas de drenaje resultan ser muy poco eficientes y son incapaces de infiltrar el agua circulante, generando en algunas ocasiones inundaciones[3].

También, debido a la poca respuesta que tienen en muchas ocasiones los sistemas de suministro de agua potable frente a la alta demanda que hay en la actualidad para el uso del agua, es necesario ir implementando sistemas de aprovechamiento de agua lluvia como respuesta a la escases o a la imposibilidad de acceder a este recurso. Uno de estos sistemas es el de captación y recolección, que se utilizan para emplear el agua pluvial que cae sobre las cubiertas de las edificaciones en labores de uso doméstico como riego de zonas verdes, aseo de zonas comunes, uso en los sanitarios y orinales[4].

Los sistemas de recolección de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí, la mayoría básicamente consta de tres componentes: captación, conducción y almacenamiento[4]. Para este proyecto en específico se estará diseñando todos los componentes de un sistema de captación, interceptor de las primeras aguas, el sistema de distribución el cual consta de los bajantes y las canaletas y el tanque de almacenamiento; para la cubierta de un polideportivo de cancha múltiple en el municipio de Bucaramanga, Santander.

Para la apropiada utilización del sistema de captación en la cubierta y teniendo en cuenta el uso que se le dará a la estructura, se requerirá de luces amplias y libres de elementos estructurales para que el polideportivo cumpla con su total funcionalidad, es por este motivo que se propone una cubierta metálica a dos aguas con una pendiente del 11 %, que contará con 4 pórticos con una separación de 11 metros entre ellos en un área de 770 m².

1.2 Justificación

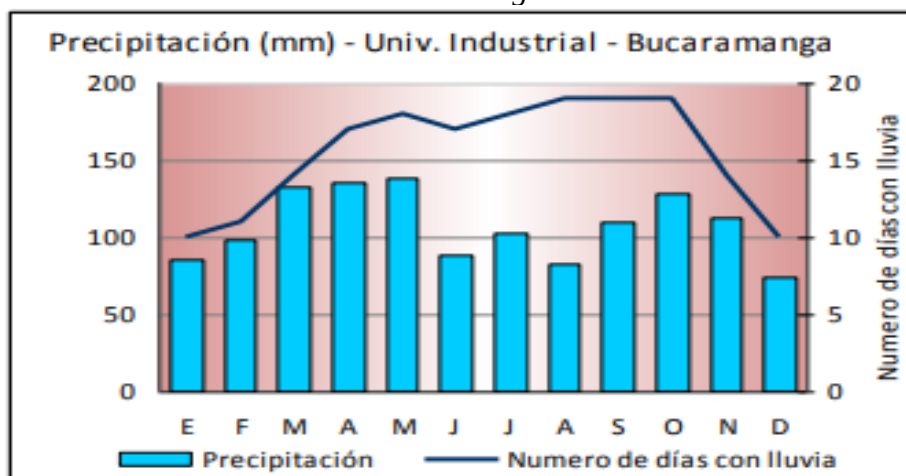
En el año 2008, la Organización de las Naciones Unidas logró demostrar que más del 50% de la población mundial reside en zonas urbanas, provocando así que en muchas zonas de estas la demanda de agua sea mayor que la oferta[5]. Esto, sumado al acelerado crecimiento demográfico agudiza aún más esta situación por lo que diversas organizaciones mundiales como la UNESCO, ONU, FAO informen sobre la necesidad de generar nuevos enfoques para darle un uso sustentable al agua de manera que se ayude a mitigar estos problemas. De igual forma, ya es evidente la escasez de agua causada por desequilibrios del ciclo hidrológico[6], pero también es alarmante la magnitud de población que no tiene acceso al recurso en óptimas condiciones, motivo por el cual uno de los Objetivos del Milenio de la ONU es precisamente reducir a la mitad esta limitación[7].

Dentro de estas opciones, el aprovechamiento de aguas lluvias, puede convertirse en una solución que ayude a replantear el modelo de consumo actual[8]. Hoy en día, se reconoce el aprovechamiento de aguas lluvias como una práctica que trae muchos beneficios, como lo puede ser reducir la sobrepresión de los hidrosistemas superficiales, al tiempo que puede disminuir los impactos de los contaminantes y las cargas de nutrientes en los ríos[9].

De acuerdo con el enfoque sostenible que se le quiere dar al proyecto en términos de ahorro de agua y costos de operación con el acueducto local se diseñará un sistema de captación en la

cubierta de la cancha polideportiva para así poder recolectar el agua lluvia y reutilizarla en otras actividades como el riego de jardines y el lavado de zonas comunes teniendo en cuenta que Bucaramanga cuenta con un índice moderadamente alto de precipitaciones al año según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)[10].

Figura 1. *Precipitación Promedio Anual en Bucaramanga*



Nota: Tomada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”[10].

La recolección del agua pluvial y su almacenamiento no es una práctica nueva y un ejemplo de esto es el Complejo Acuático Simón Bolívar en Bogotá. La cubierta del edificio tiene recolectores de agua de lluvia, que luego mediante un proceso de filtración, esta puede ser reutilizada como agua gris, para regar las plantas y ser usada en los baños. Con este ejemplo se puede concluir que este tipo de sistemas pueden generar beneficios económicos y ambientales y se puede evidenciar que es una práctica que ha ido creciendo mucho en la actualidad debido a la importancia del agua; además, el agua lluvia es una excelente fuente para cubrir la demanda generada por servicios que no requieren agua potable para su funcionamiento.

Un estudio realizado por María Cristiana Reyes y John Jairo Rubio en el año 2014 consistió en describir el estado del arte de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Dentro de los resultados obtenidos se muestra la importancia de incentivar la construcción y uso de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para labores de riego, uso doméstico e incluso para consumo humano[11].

En conclusión, ante la esencial importancia que conlleva la gestión del agua, se hace apremiante la labor en el desarrollo de programas sostenibles y sustentables en los cuales se optimice la utilización de este recurso, una de las propuestas es el diseño y construcción de sistemas de captación de agua lluvia en las cubiertas; un ejemplo de esto fue el diseño descrito en este trabajo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el diseño integral de una cubierta metálica para el Polideportivo Ciudad Bolívar en Bucaramanga, enfocado en el aprovechamiento de agua lluvia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia, a partir de la recolección de datos meteorológicos de Bucaramanga, para el riego de zonas verdes y el lavado de zonas comunes en el Polideportivo Ciudad Bolívar.
- Realizar el diseño los elementos estructurales que componen la cubierta metálica del polideportivo.

- Realizar el presupuesto del proyecto con tal de conocer la incidencia económica que tiene la implementación del sistema de captación mediante un diagrama de Pareto.

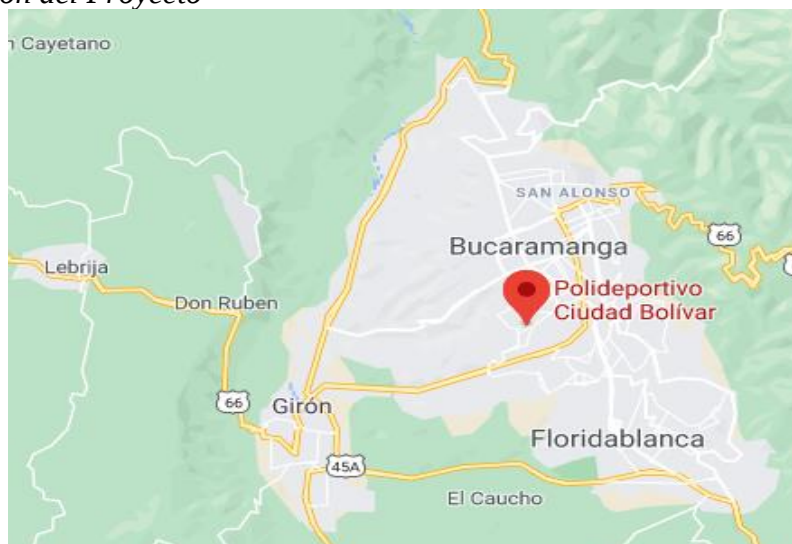
2. Marco Referencial

2.1. Localización y Descripción del Proyecto.

El proyecto está ubicado en la calle 63ª # 3 – 52 barrio Ciudad Bolívar en Bucaramanga, capital del departamento de Santander, Colombia. Ubicada al nororiente del país sobre la cordillera oriental, a orillas del río de Oro. Está rodeada por los municipios de Girón, Piedecuesta y Floridablanca, con los cuales conforma el Área Metropolitana de Bucaramanga. Se encuentra a 384 km de Bogotá, la capital de Colombia; en las figuras 2 y 3 se puede visualizar la localización de la ciudad y del proyecto en cuestión.

Figura 2. Localización de Bucaramanga



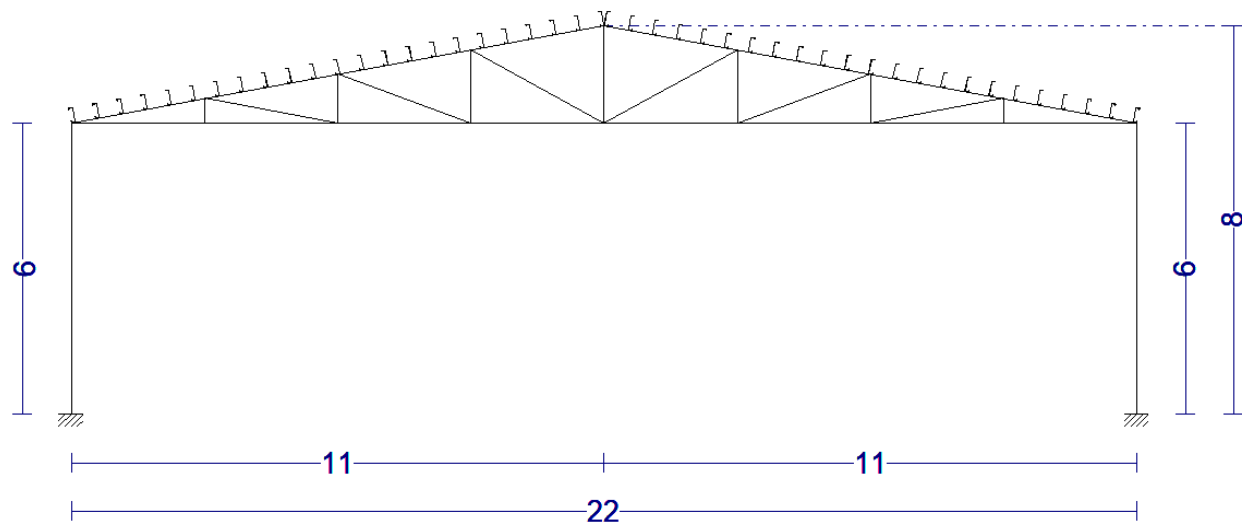
Figura 3. Localización del Proyecto

Nota: Tomado de Google Maps.

2.1.1. Características Globales de la Estructura

Para realizar el diseño de la cubierta se tuvo en cuenta el Título F. Estructuras metálicas, del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Se usará acero S275 para los perfiles, para los pernos en las uniones y para los arriostramientos. La estructura metálica que se planteará es conocida comúnmente como liviana de acero, consiste en un cerramiento horizontal provisto por una cubierta soportada por correas, que se apoyarán en pórticos constituidos tanto por pilares como vigas. Para la geometría de la cubierta se planteó lo siguiente:

- La cubierta tiene un área de 770 m.
- La estructura consta de 7 pórticos, cada uno con una separación de 5m.
- Los pórticos son simétricos al eje vertical y tendrán una altura máxima de 8 m.
- Las columnas de la edificación serán de perfil metálico y tendrán una altura de 6m.
- El cerramiento de la cubierta será tipo sándwich de 30 mm de espesor formado por dos láminas de acero de espesor de 0,5 mm con una pendiente aproximada de 20 %.

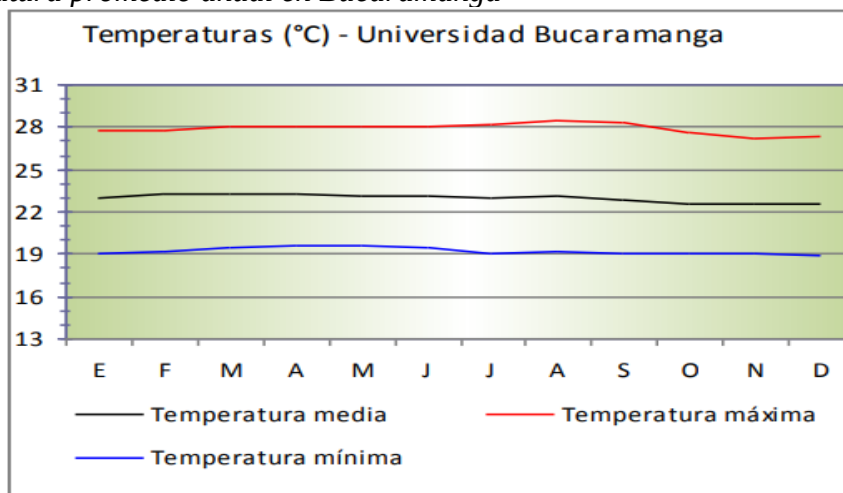
Figura 4. *Vista Frontal de la Cubierta Liviana*

En cuanto al sistema de captación sus principales características son:

- El material de la tubería será en PVC.
- Se realizará el diseño de bajantes y canaletas.
- El área de captación del agua lluvia será la cubierta de la estructura.
- La cubierta metálica será Teja Master 1000 Acesco.

2.2. Características Climatológicas de Bucaramanga

El clima de Bucaramanga es templado. Según datos recolectados del IDEAM durante el año 2019 en Bucaramanga los veranos fueron cortos y calientes y los inviernos cortos y cómodos. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente osciló entre los 20 °C a 27 °C y rara vez bajó a menos de 18 °C[10].

Figura 5. *Temperatura promedio anual en Bucaramanga*

Nota: Tomada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”[12].

2.2.1. Precipitación

La precipitación es el proceso de liberación de agua desde la atmosfera hasta la superficie de la Tierra, ésta puede darse en forma de lluvia, granizo o nieve La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense[13].

La calidad del agua lluvia es muy variable, ya que su nivel de contaminación depende de factores de la atmosfera local, de la concentración de las industrias y procesos físicos[7]. Generalmente los datos pluviométricos en estudios se dan en precipitación media mensual o precipitación media anual.

El promedio de lluvia anual en Bucaramanga es de 1303 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses más secos son diciembre, enero y febrero, y en menor proporción, junio, julio y agosto. Las temporadas de lluvia se extienden de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. En los meses secos de principios de

año, llueve alrededor de 10 días/mes; en los meses de mayores precipitaciones, así como en la temporada seca de mitad de año, puede llover de 17 a 19 días/mes[10].

2.2.1.1. Magnitud de la lluvia. Para determinar la magnitud de la lluvia asociado a un periodo de retorno se debe realizar un ajuste estadístico de la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones pluviográficas y de esta manera calcular la precipitación puntual sobre un área determinada[14]. La precipitación máxima en 24 horas es útil para comprender procesos erosivos y la generación de caudales máximos en el área de estudio.

Para la estimación de la precipitación local, se debe tener en cuenta el promediar las estaciones de precipitación ya que algunas veces no están tan cerca de la tormenta o en el centro de ella. En este proceso resultan curvas de profundidad/área fijadas localmente que relacionan la precipitación promedio sobre el área con medidas puntuales. Esta relaciones se deducen de un análisis de profundidad – área – duración, en el cual se realizan mapas de isoyetas para cada duración de lluvia máxima registrada en cierto número de horas en un área instrumentada[14].

El primer paso para diseñar un proyecto que involucre la recolección de agua lluvia es determinar un evento que involucre la relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias o periodos de retorno. Esta relación se denomina curvas IDF y son determinadas por cada sitio en particular.

2.2.1.2. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno[15].

Varios autores han propuesto modelos matemáticos para la caracterización de la relación de intensidad-duración-frecuencia de una serie de precipitaciones. Casi todas siguen un modelo general descrito en la ecuación 1 para determinar las intensidades máximas de lluvia[15].

$$i = \frac{K * T^m}{(t + t_0)^n} \quad (1)$$

Donde,

i = Intensidad de lluvia [mm/h]

T = Periodo de retorno [años]

t = Duración de la lluvia [min]

t₀ = Constante [min]

K,m,n: Parámetros de ajuste de la regresión. [adimensional]

2.2.2. Información Pluviométrica.

Para el correcto diseño del sistema, se debe tener la información pluviométrica de la zona, la cual debe ser mínimo de 10 años consecutivos.

2.2.2. Hidrología y Relaciones Oferta y Demanda

Para un exitoso análisis de factibilidad técnica en un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, es fundamental la información hidrología del lugar. Los métodos más utilizados para efectuar los análisis de oferta y demanda son los siguientes:

2.2.2.1. Método Racional. Desarrollado por Mulvaney en 1850, determina el caudal máximo instantáneo de descarga en una cuenca hidrográfica. Es uno de los modelos más simples y usados para el diseño de drenajes urbanos. El método racional se encuentra establecido a través de la ecuación universal mostrada a continuación (ecuación 1) [16].

$$Q = C.I.A \quad (2)$$

Donde:

C = Coeficiente de impermeabilidad [adimensional]

I: Intensidad de precipitación [mm/hora]

A: Área de captación. [m²]

2.3 Sistemas de Captación y Recolección de Aguas Pluviales

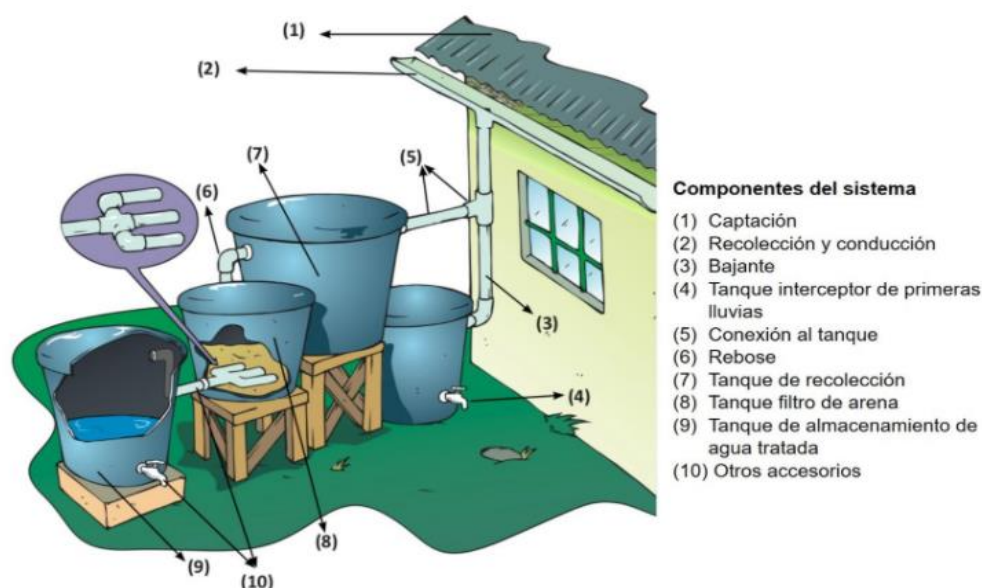
Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, el promedio de precipitación en Colombia es de 2.918 mm/año y la escurrimiento es de 56,1 l/s.Km²; lo que en términos de rendimiento promedio son superiores a los valores promedio de escurrimiento mundial, donde su valor es de 10 l/s.Km². Esto da para pensar que para Colombia la abundancia de agua lluvia permite que pueda ser una fuente potencial de abastecimiento para muchas zonas donde no se cuenta con acueducto[18].

La función de un sistema de captación de agua de lluvia es la de recolectar el agua que se precipita de forma natural, mediante un proceso de filtración se retienen las impurezas que pueda contener el agua, posteriormente transportarla a un espacio de almacenamiento para distribuirla y utilizarla en diferentes actividades. La calidad del agua captada debe mejorarse implementando

procesos físicos, químicos o biológicos que permitan con el cumplimiento de los parámetros establecidos[11].

Los sistemas de captación de aguas lluvias son bastante similares a los sistemas convencionales, y requieren menos tubería, porque el abastecimiento se hace en la misma edificación, disminuyendo los costos de construcción.

Figura 6. Componentes de un Sistema de Captación



Nota: tomado de <https://www.consejosparamihuerto.com/consejos/como-construir-un-tanque-de-almacenamiento-de-agua-de-lluvia/>

Según el Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua Lluvia propuesto por la Organización de las Naciones Unidas es importante que antes de realizar el diseño de un sistema de captación, se tenga en cuenta las siguientes consideraciones[19].

- Se deben conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos diez años.

- Número de personas beneficiadas
- Demanda de agua
- Tipo de material del que va a estar construida la superficie de captación.
- El área de cubierta necesaria.

2.3.1. Captación

Es la superficie donde se recolecta el agua lluvia. En esto caso será en la cubierta de la estructura, que deberá tener una superficie adecuada que permita la caída del agua al sistema de recolección. En el cálculo, se debe considerar la proyección horizontal del techo, así como el coeficiente de escorrentía que depende del tipo de material que se escoja para la cubierta[19].

Tabla 1. Valores de Referencia para el Coeficiente de Escorrentía

Material	Coeficiente de escorrentía
Metálica	0,9
Lámina plástica	0,9
Mortero	0,88
Asfalto	0,88
Techos	0,75 - 0,95
Hormigón	0,70 - 0,95
Suelo arcilloso emparejado con lamina	0,55

Nota: Recuperado del Código Colombiano de Fontanería NTC-1500. [20]

Es muy importante que el material con el que será construido la cubierta no altere la calidad del agua captada o reste eficiencia en el tratamiento con aportes contaminantes.

Figura 7. *Superficie de Captación de Agua Lluvia*



Nota: Tomado de <https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/captacion-de-agua-pluvial.html>

2.3.2 Recolección y Conducción.

El sistema de recolección corresponde a los canales ubicados en los bordes inferiores de la cubierta; con el objetivo de recolectar el agua lluvia proveniente de la cubierta y conducirla hacia el sistema interceptor[21].

- Las canaletas podrán ser de diferentes materiales con tal de que no altere la calidad fisicoquímica del agua que será recolectada.
- El material debe ser liviano, resistente al agua y de fácil unión para reducir las pérdidas. Por lo general se recomienda que sea de aluminio, metal o PVC.
- Deberán tener una pendiente baja para facilitar el flujo de agua.
- El ancho de las canaletas varía de 75 mm a 150 mm.
- La cubierta deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta como mínimo en un 20 % del ancho de la canaleta.
- La velocidad del agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1.00 m/s

- Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y lo más lisas posibles para evitar un posible represamiento del agua.

Figura 8. *Canales para la Recolección de Agua Lluvia*

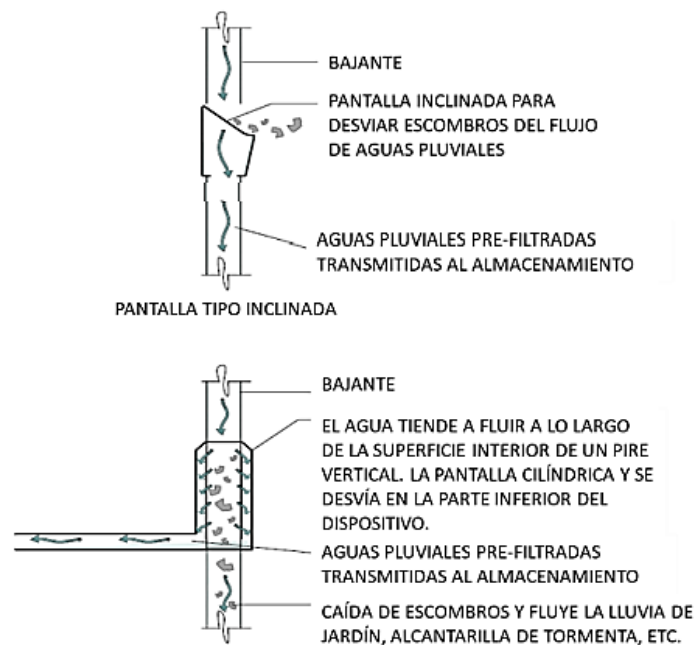


Nota: Tomado de <https://sinsa.com.ni/blog/como-preparar-tu-casa-para-la-epoca-de-lluvias/>

2.3.3 Filtración

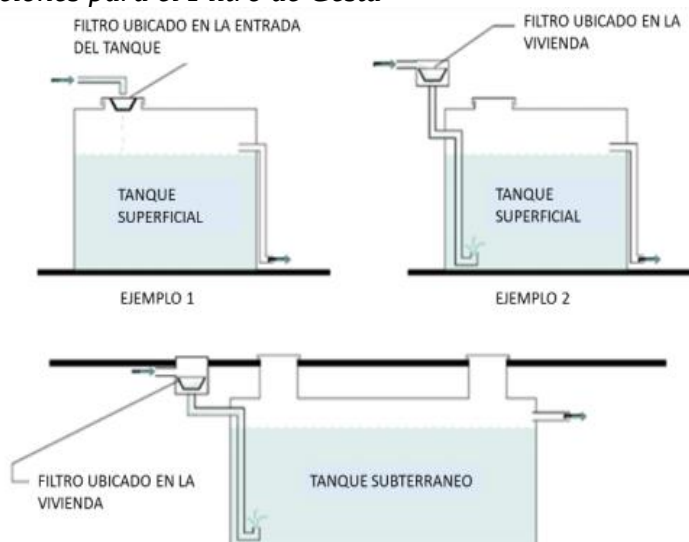
Se debe tener en cuenta un elemento de filtración, este es de suma importancia ya que la contaminación que lleva consigo el aire y el agua lluvia pueden ocasionar la pérdida de la eficiencia causando una reducción en la capacidad hidráulica[22].

- Filtros de bajante: Funcionan mediante el principio de fluidez del agua a lo largo de las paredes internas de la tubería. Incluyen una pantalla de ángulo y una pantalla vertical, creando un espacio de aire entre el borde interior del bajante y la pantalla de ángulo.

Figura 9. Filtro de Bajante

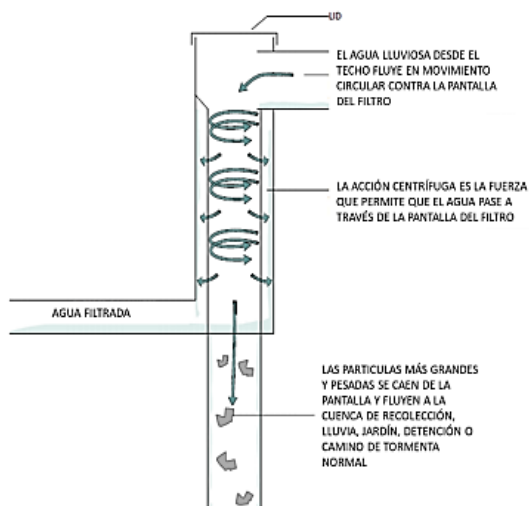
Nota: Tomado de Novak, Van Giesen (2014). [22]

- Filtro de cesta: Generalmente se encuentra ubicado antes del acceso al tanque de almacenamiento, con el fin de evitar la presencia de escombros, animales o algún otro tipo de contaminante que pueda llegar al tanque. Deben tener un monitoreo y limpieza constante.

Figura 10. Posibles Ubicaciones para el Filtro de Cesta

Nota: Tomado de Novak, Van Giesen (2014). [22]

- Filtro centrífugo: Mediante este filtro los residuos contaminantes son dirigidos a través de una pantalla hacia un camino direccionado mediante la fuerza centrífuga. Debe inspeccionarse regularmente y no son muy funcionales en flujos bajos por su sistema de centrifugado.

Figura 11. Filtro Centrífugo

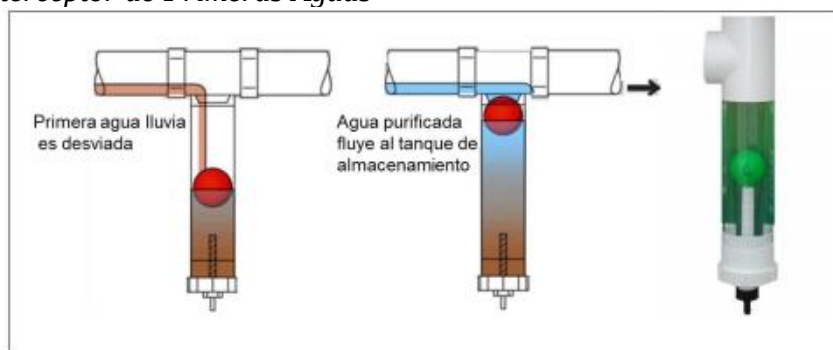
Nota: Tomado de Novak, Van Giesen (2014). [22]

2.3.4 Interceptor de Primeras Aguas

Es el dispositivo que capta las primeras aguas provenientes de la cubierta, su principal función es ser el primer filtro ya que evita el almacenamiento de impurezas en el recurso hídrico. El interceptor puede ser un tanque y debe ir conectado a las canaletas por medio de bajantes. Debe tener una válvula de flotador que controle el llenado. Cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento.

Los dispositivos de intercepción de primeras aguas deben ser tan simples que no demanden la mayor atención respecto a su funcionamiento y mantenimiento[21].

- El volumen del interceptor debe ser calculado a razón de 1 litro de agua por m² del área de la cubierta.
- Las dimensiones del tubo de bajada deben garantizar que permita al agua hacia el interceptor sin que se produzcan reboses. El diámetro mínimo del tubo de bajada al interceptor es de 75 mm.
- La parte superior del interceptor debe contar con un dispositivo de cierre automático que debe cerrar una vez se hayan evacuado las primeras aguas lluvias.
- El fondo del tanque del almacenamiento del interceptor deberá contar con una válvula de cierre.

Figura 12. *Sistema Interceptor de Primeras Aguas*

Nota: Tomado de <https://www.rainharvest.com/shop/>

2.3.5. Almacenamiento

El almacenamiento se hará a través de un tanque o cisterna el cual recolectará el agua captada y filtrada para que esté disponible para su posterior distribución en la actividad que se requiera. Los componentes de un sistema de almacenamiento deben tener las siguientes características[21]:

- Debe ser impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- No debe ser de más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones. La parte superior no deberá estar a menos de 0.30 m con respecto al punto más bajo del área de captación,
- Debe tener tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Debe disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- En la entrada y el rebose debe tener mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Debe estar dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje, así como de un filtro de arena para purificar el agua. La velocidad de filtración debe ser menor a 0.2m/hora.

En la mayoría de los tanques de almacenamiento el punto de desbordamiento debe ser igual al diámetro de tubería de entrada, debe tenerse en cuenta la canaleta de destino por la cual fluirá

el agua a través de la tubería de desbordamiento. Se diseña en función del volumen de agua recolectada en épocas de lluvia[23].

Figura 13. *Tanque de Almacenamiento de Agua*



Nota: Tomado de <https://avatarenergia.com/recoleccion-de-agua-de-lluvia/>

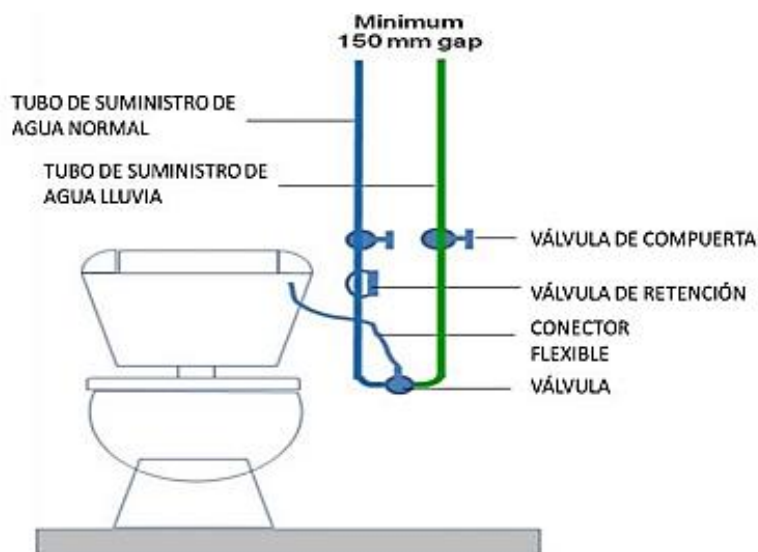
2.3.6 Red de Distribución

Corresponde a la red que distribuirá el agua lluvia para los diferentes puntos de uso. Debe ir paralela a la red del acueducto. Es importante proteger la red de suministro de agua potable con una válvula para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable[4]. Este componente puede verse afectado por factores como la ubicación del tanque de almacenamiento y del sistema de bombeo.

La implementación de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia puede construirse con dos enfoques distintos para su distribución[23].

- Usos exclusivos: Se implementa únicamente en puntos específicos de las tuberías de distribución para dar un uso establecido.
- Usos suplementarios: Es cuando se instala una fuente de agua suplementaria apoyada por válvulas de compuerta.

Figura 14. *Sistema de Distribución con una Fuente Suplementaria*



Nota: Recuperado de <https://es.scribd.com/document/454577917/Syed-Azizul-Haq-PEng-auth-Harvesting-Rainwater-from-Buildings-Springer-International-Publishing-2017-pdf> [24].

Al igual que en un sistema tradicional de distribución de agua potable, el sistema de aprovechamiento puede ser implementado mediante dos métodos básicos[24].

- Un sistema de tanques subterráneos: El agua lluvia se almacena en el subsuelo por medio de un tanque de almacenamiento. Esta agua almacenada se bombea hacia otro tanque a un nivel más alto para que este distribuya el agua.

- Un sistema de bombeo directo a los puntos de distribución: El agua lluvia es almacenada en un nivel inferior y desde allí se diseñan los puntos a los que se les desea suministrar el agua.

2.3.7 Sistemas de Bombeo

Es el sistema encargado de la distribución del agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades sanitarias[24].

- El flujo de fluido variable y deben ser capaces de reducir las tasas de flujo de bombeo al 50% o menos de la tasa de flujo de diseño.
- Se requiere tener variadores de velocidad para una potencia total de bombeo superior a 7.5 kW (10 HP).
- El flujo mínimo a través de una bomba debe ser suficiente para remover el calor de la compresión (potencia entrante del motor) con no más de 5.5°C de incremento de temperatura.
- Se debe prestar especial atención a las condiciones de entrada de la bomba; un tubo recto de mínimo 4 a 6 de diámetros de largo aguas arriba o un difusor de succión es recomendable para bombas instaladas en terreno.
- Bombas de flujo variable nunca deben tener válvulas de balance instaladas en la descarga ya que el flujo de balance se puede alcanzar fácilmente al variar la velocidad de la bomba.
- Según la Resolución 0330 del 2017, se deben tener en cuenta los siguientes criterios para la selección de una bomba[25]:
- Condiciones hidráulicas de funcionamiento del sistema.
- Costos de inversión, funcionamiento, mantenimiento y reparación.

- Condiciones geográficas del sitio
- Niveles de ruido
- Eficiencia energética
- Rendimiento y potencia absorbida.

Estos son los componentes básicos que hacen parte de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, en los cuales se observa que no son tecnologías de mucha complejidad y que pueden ser diseñadas y adecuadas en zonas que dispongan del espacio y que cuenten con temporadas de lluvia.

2.3.8 Mantenimiento de los Sistemas de Captación

Se debe tomar una serie de medidas para que la implementación del sistema de captación tenga una larga duración y sea funcional[21].

- Monitorear el nivel máximo del agua, esto se hace verificando el funcionamiento de la red de rebose del tanque de almacenamiento.
- Para mitigar daños por oxidación o radiación solar, se debe tener un mantenimiento periódico de las tuberías que componen el sistema.
- Mantenimiento periódico de todas las piezas que componen la bomba, según su especificación técnica.
- Verificar que la resistencia de aislamiento del motor de la bomba sea superior a $5M\Omega$.
- Tratar de mantener por lo menos 30 cm de nivel de agua en el tanque para evitar que este se agriete.
- Para evitar la presencia de los golpes de ariete, abrir y cerrar las válvulas de la tubería lentamente.

- Tener en cuenta que antes del inicio de cada periodo o temporada de invierno y/o lluvia, se debe verificar la funcionalidad del interceptor de primeras aguas, retirar los residuos de sedimentación presentes en el filtro del canal de los bajantes, tanque de almacenamiento y área de captación.
- Mantener limpias y libres de escombros las canaletas encargadas de desviar la escorrentía sobrante para garantizar el flujo de agua.
- La entrada de agua a la bomba debe estar cubierta de una malla para evitar el bloqueo por suciedad.

2.4 Sistema Estructural de la Cubierta para la Cancha Polideportiva

Para un proyecto municipal estándar por lo general se utilizan ciertos manuales del Departamento Nacional de Planeación (DNP), este señala que para cubrir los escenarios deportivos se utilizará un sistema de estructura metálica aporticado o cerchas metálicas soportadas en columnas de concreto o acero[26]. El sistema estructural en toda edificación debe contar con un diseño el cual permita que la transmisión de las cargas que se generan debido a las fuerzas externas e internas fluyan de manera continua hasta la cimentación.

Figura 15. *Ejemplo de Cubierta en un Polideportivo*



Nota: Recuperado de www.tusemanario.com

Toda estructura en general, de la tipología que sea, debe cumplir con tres requisitos fundamentales para que esta sea apta al público o a la sociedad[27].

- Estabilidad
- Resistencia
- Rigidez

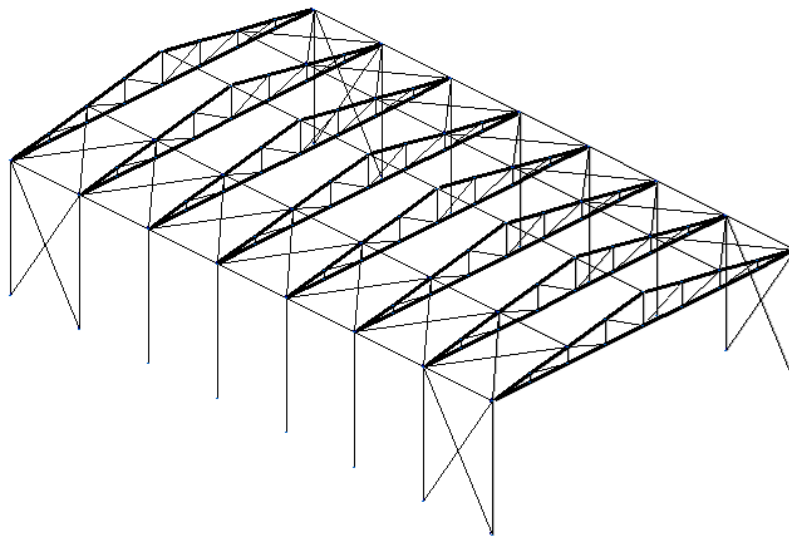
2.4.1 Sistema Reticulado de Pórticos

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, conocido como NSR-10, en el Título A.3.2.1.3. lo define como un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y horizontales[28]. Es decir, es un sistema que combina elementos tipo viga y columna,

con la estabilidad necesaria para soportar momentos en sus nodos o uniones, para garantizar que este sistema sea seguro se debe disponer de:

- Viga perimetral
- Arriostramientos

Figura 16. *Sistema Reticulado de Pórticos*



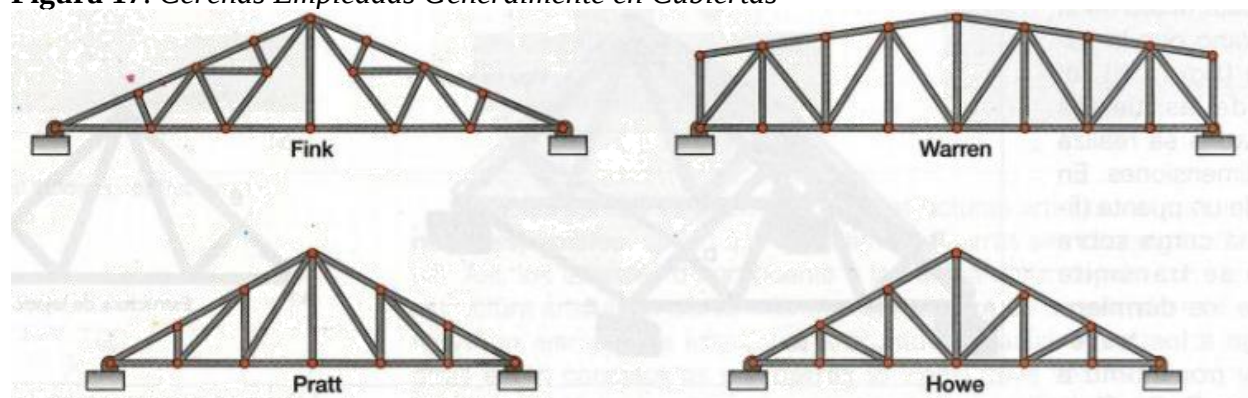
2.4.2 Estructuras Articuladas o Armaduras

También son conocidas como celosías o cerchas. Es un sistema que consta de subelementos triangulares que están apoyados de manera tal que se impida todo tipo de movimiento y que compuesto por elementos estructurales rectos que están interconectados por unas uniones articuladas llamadas nodos. Su estructura ligera puede soportar cargas elevadas con un peso estructural relativamente pequeño[29].

Las fuerzas y reacciones aplicadas a este sistema se aplican en los nodos. El esfuerzo principal al que es sometido cada elemento es a tracción o compresión axial. Cuando las uniones en los nodos son rígidas, se introduce una flexión secundaria.

La cercha más utilizada y que permite salvar todo tipo de luces es la cercha de forma triangular. Normalmente están constituidas por elementos laminados, corrugados o forjados; su pendiente varía entre los 10 y 45°, con diagonales que formen ángulos de 30 y 60°, con respecto al cordón inferior. Otro tipo de cerchas es la de forma rectangular que pueden cubrir luces de hasta 30 m[26].

Figura 17. *Cerchas Empleadas Generalmente en Cubiertas*



Nota: Recuperado de https://issuu.com/secsa/docs/mec_nica_i_04_estructuras_y_mecanismos

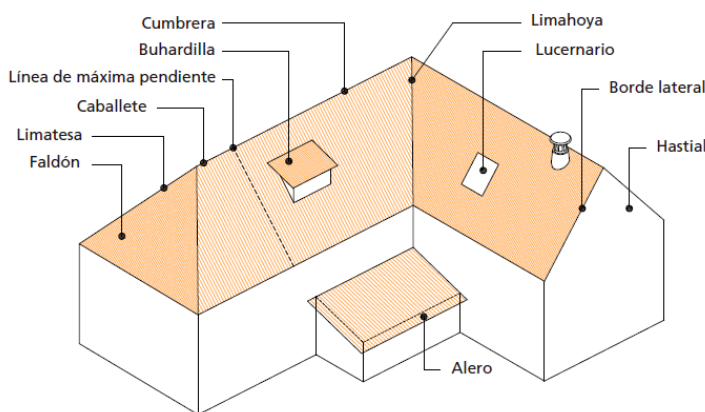
- La armadura Fink puede ser dividida en un gran número de triángulos y coincidir casi con cualquier espaciamiento de largueros.
- La cercha Howe es formada por elementos horizontales superiores e inferiores entre los cuales se encuentran dispuestas las barras verticales y diagonales, donde los elementos verticales trabajan a tracción y los diagonales, a compresión.

- La cercha Pratt, a diferencia de la cercha Howe, tiene sus barras inclinadas en forma de V, de manera que sus diagonales están sometidas a tracción mientras que las barras verticales están a compresión.
- La cercha Warren, ofrece la ventaja de que proporciona un máximo de espacio abierto libre para la inclusión de los elementos de servicio del edificio que deben pasar a través de las armaduras. El rasgo característico de este tipo de armadura es que forman una serie de triángulos isósceles (o equiláteros), de manera que todas las diagonales tienen la misma longitud.

2.4.3 Cubierta Liviana a Dos Aguas

También son conocidas como cubiertas multidireccionales, drenan las aguas pluviales hacia las canaletas que están ubicadas perimetralmente[30].

Figura 18. Cubierta a Dos Aguas y sus Partes



Nota: Tomado de <https://promotejado.es/blog-componentes-cubiertas-inclinadas-2/>

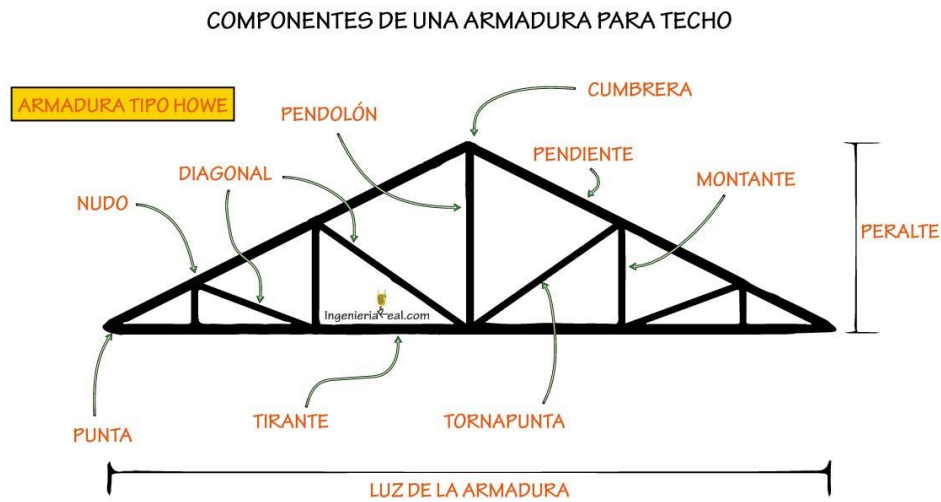
El material para la cubierta a utilizar debe tener la resistencia para que se pueda hacer el mantenimiento sobre ella, y que a su vez sea duradera; para ello, se podrán usar tejas en materiales en base de aluminio, acero de alta resistencia o de policarbonatos.

Son generalmente utilizadas en edificaciones que se vean en la necesidad de tener grandes luces, por ejemplo; gimnasios, estadios, coliseos, pabellones, hangares, almacenes, etc.

2.4.4 Elementos que Conforman el Sistema Estructural de la Cubierta

Los elementos que conforman el sistema estructural de una cubierta son los siguientes[31]:

- **Correas:** Son perfiles que forman el entramado sobre el que se fija la cubierta.
- **Vigas portantes:** Son vigas en celosía, las cuales tienen la función de transmitir las cargas de la cubierta hacia los elementos de apoyo. Se distribuyen por la cubierta.
- **Arriostramientos:** Conjunto de elementos estructurales que se distribuyen por los planos de la cubierta y fachada con el fin de transmitir hasta la cimentación la componente horizontal de las cargas.
- **Nodos:** Puntos donde se unen los elementos estructurales.
- **Cordón superior e inferior:** Pieza horizontal encargada de soportar y transferir cargas.
- **Montante:** Elemento vertical que une el cordón superior con el cordón inferior.
- **Canaletas:** Se recogen las aguas provenientes de la cubierta y se distribuyen hasta los bajantes.
- **Pendolón:** Elemento vertical que une el punto de la cumbrera con otro punto del cordón inferior.
- **Diagonales:** Pieza inclinada que une el cordón superior con el cordón inferior.
- **Cubierta:** Cubre toda la estructura y da rigidez.

Figura 19. Componentes de una Cubierta

Nota: Recuperado de <https://ingenieriareal.com/armaduras-techo/>

2.4.5 Conexiones

Una vez se han diseñado los elementos estructurales, se hace necesario transmitir las fuerzas de estos elementos a las condiciones de frontera y así cumplir con todas las consideraciones de análisis y diseños de la cubierta. Estos elementos son conocidos como uniones o conexiones. Actualmente existen dos formas de conectar una estructura metálica, por medio de tornillos y/o enchapes o por medio de soldadura[32].

El Instituto Americano de Construcción de Acero en el capítulo B Requisitos de Diseño en su punto 6.3, clasifica a las conexiones en dos casos[33]:

- Conexiones simples: Aquellas que no transmiten momentos y que permiten una rotación relativa de los miembros que se conectan.
- Conexiones de momento: Tienden a transmitir momentos entre los elementos que se conectan. Estos elementos pueden ser completamente restringidas (FR) o parcialmente restringidas (PR).

2.4.6 Aspectos para el Diseño Estructural de la Cubierta

Luego de hacer una recopilación por los diferentes manuales y normativas que existe para el diseño de estructuras en acero, se concluyó que para conseguir un buen rendimiento estructural se recomienda lo siguiente:

- La inclinación de los elementos diagonales, en relación con los cordones, deberá ser de entre 35° y 55°
- La orientación de los elementos diagonales deberá ser tal que los elementos más largos estén sometidos a tracción.
- Las cargas que se aplicarán siempre deben ser puntuales.
- Las secciones deben ser simétricas para la flexión fuera del plano vertical de la celosía.
- En los elemento sometidos a compresión, la resistencia al pandeo en el plano vertical de la celosía deberá ser similar a la resistencia del pandeo fuera del plano.
- Estabilidad lateral: Los cordones sometidos a compresión deberán ser calculados para resistir el pandeo fuera del plano. Para el caso específico del proyecto que es una celosía en pórtico, cada cordón deberá estar parcialmente sometido a compresión y parcialmente sometido a tracción.
- Contraviento transversal: La forma del contraviento transversal deberá estar dispuesto como celosía en X, paralelo al plano de cubierta.

Es importante tener en cuenta que en la parte central de la celosía hay elementos diagonales secundarios y montantes. Por regla general, estos se instalan para permitir la aplicación de una carga puntual entre nodos principales, sin ocasionar una flexión adicional sobre el cordón superior y para reducir el pandeo en el plano de la celosía de los elementos centrales del cordón superior[30].

2.4.7 Modelamiento de la Estructura

Para el proyecto como tal es más conveniente trabajar con modelos en 2D ya que es una cubierta estándar de una sola planta. No obstante, para realizar el modelamiento de la estructura metálica deben tenerse en cuenta algunos aspectos importantes.

- Si se utiliza un modelo global en 3D, se puede observar una flexión que crea una precisión ilusoria del comportamiento estructural.
- Una vez decidido y adaptado el alcance del modelo, es importante considerar la naturaleza de las uniones internas. En celosías raramente se modelan las uniones como semirrígidas.
- Una celosía puede ser modelada sin sus pilares cuando ésta esté articulada a los mismos.
- Es importante que el modelo represente adecuadamente las excentricidades que existen en la estructura real.

2.5 Presupuesto en un Proyecto de Obra

Un presupuesto tiene como finalidad dar una idea aproximada y lo más real posible del precio de lo que será la ejecución del proyecto. Para la elaboración de este, se deberá contar con un proyecto arquitectónico y técnico definido detalladamente donde se involucren todos los costos previstos para que la obra culmine exitosamente[34].

Como lo indica Botero, el presupuesto es el conjunto de estimados de cantidades en obra y valores de las mismas, que en su conjunto, permiten determinar el costo de un proyecto de construcción[35]. Por lo tanto, los objetivos de un presupuesto son la planeación, coordinación, integración y control dentro del contexto administrativo[36].

2.5.1 Costos Directos

Son todos aquellos gastos que se tienen que efectuar para construir la obra, es decir los costos que están directamente relacionados con la ejecución de la obra. Generalmente estos costos se refieren a los materiales, mano de obra, maquinaria y equipos.

Los costos directos cuentan con un factor de rendimiento que usualmente se define como la relación entre la realización de las actividades respecto al tiempo que estas requieren para su completa ejecución. La determinación de este factor es importante para hallar eficazmente el costo de los insumos o mano de obra necesaria para cierta actividad[37].

2.5.2 Costos Indirectos

Consiste en los gastos de carácter general no incluidos en los costos directos en los que deba incurrir el contratista para la ejecución de las actividades correspondientes al proyecto. En este ítem se encuentran todas las actividades que se realizan para llevar a cabo la administración de la obra o de algún proceso productivo tal como gastos de administración, vigilancia, imprevistos, seguros, prestaciones sociales, salarios[37].

2.5.3 Análisis de Precios Unitarios

Es la determinación del precio unitario de una actividad a ejecutar en una obra. En este se debe determinar las unidades de medida y los precios unitarios. Para la elaboración de este modelo se debe tener en cuenta los costos directos, costos indirectos, costo por financiamiento, cargo por utilidad y cargos adicionales, desglosando los subconceptos que integran el proyecto, estableciendo formulas o definiciones según sea necesario[38].

2.5.4. Diagrama de Pareto

Según Edward Santa María Dávila en su artículo de Gestión de la Construcción, Geotecnia y Transportes, el diagrama de Pareto es una herramienta para la evaluación de incidencias con el objetivo de mostrar aquellos aspectos más relevantes para la efectiva toma de decisiones. Es una comparación ordenada de factores relativos a un problema, que nos ayudará a enfocar los factores vitales que gravitan en la solución de un problema[39].

Para elaborar un diagrama de Pareto se deben seguir los siguientes pasos.

1. Cuantificar los factores del problema y sumar los efectos parciales. Es preferible que estos datos se representen en valor monetario.
2. Ordenar los elementos de mayor a menor incidencia
3. Determinar el porcentaje acumulado total para cada elemento de la lista
4. Trazar los ejes (Unidades, elementos, porcentajes)
5. Dibujar las barras correspondientes a cada elemento de la lista
6. Analizar el diagrama localizando un punto de inflexión.

2.6. Marco Normativo

La normativa que se necesitó para el completo desarrollo del proyecto será descrita a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. *Normativa Usada para el Desarrollo del Proyecto*

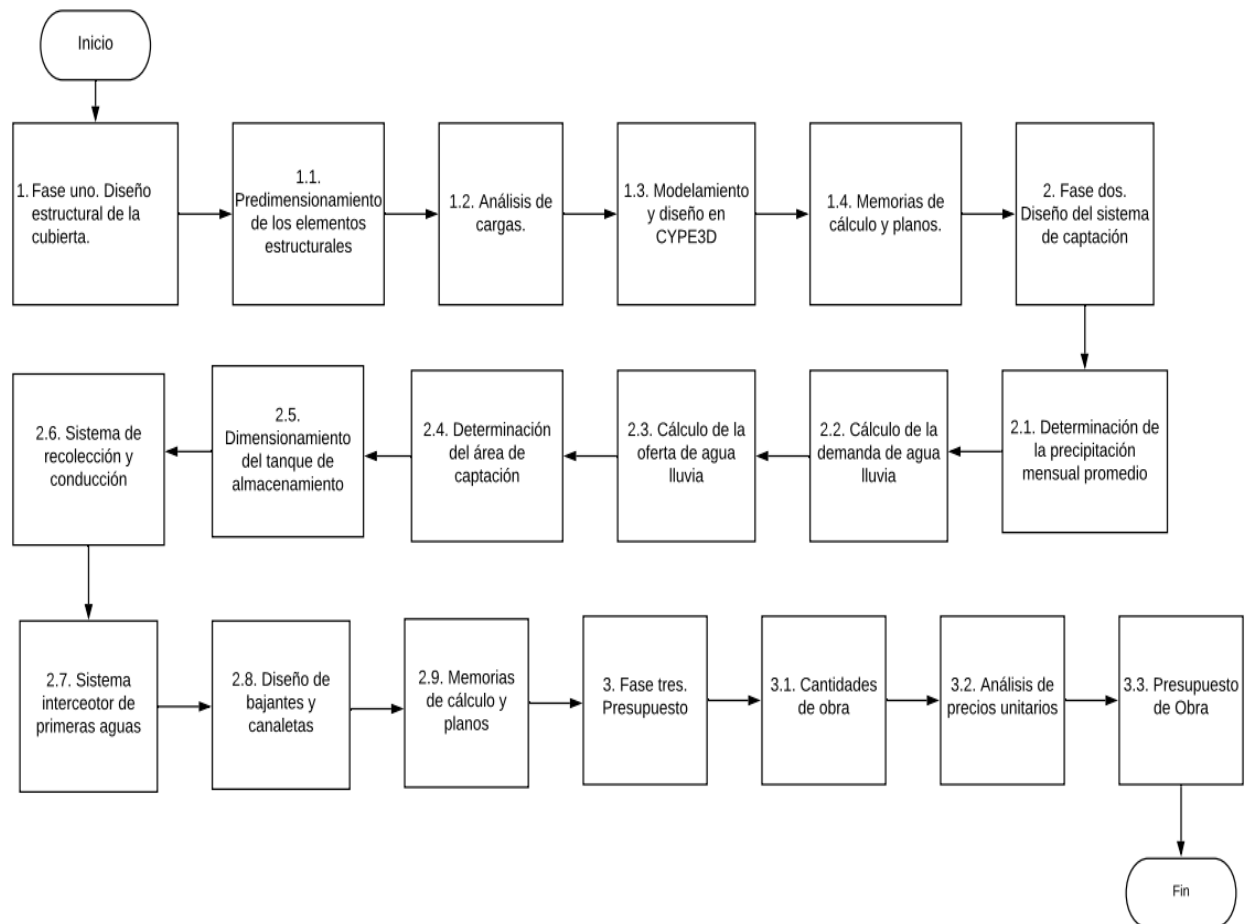
Norma	Descripción
NSR - 10. Titulo A	Requisitos generales de diseño y construcción sismorresistente
NSR - 10. Titulo B	Requisitos mínimos que deben cumplir las estructuras con respecto a las cargas que deben emplearse en su diseño
NSR - 10. Titulo F	Las normas de este reglamento son aplicables al diseño de estructuras conformadas por elementos de acero aluminio, soldados, atornillados o remachados.
RAS 2000 Titulo B	Captación directa de aguas lluvias
Ley 373 de 1997. Art. 5	Reúso obligatorio del agua.
Proyecto de ley 48 de 2017.	Normas para implementar e incentivar sistemas de recolección y aprovechamiento de agua lluvia y captación de energía solar.
NTC 1500	Código colombiano de fontanería, establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de agua potable.
AISC 303-10	Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges
AISC 360-10	Specification for Structural Steel Buildings
AISC 341-10	Seismic Provisions for Structural Steel Buildings
AISC 358-10	Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications
AISI S100 Steel	North American Specification for the design of Cold-formed Structural Members

3. Metodología

En este capítulo se describen las actividades necesarias para la elaboración del diseño integral de la cubierta para el polideportivo Ciudad Bolívar en el municipio de Bucaramanga. La metodología constará de tres fases. La primera de ellas consta del diseño estructural de la cubierta que será la estructura encargada de captar el agua lluvia, una vez diseñada la cubierta, se inicia con la segunda fase que será el diseño del sistema de captación con todos sus componentes. Por último,

la fase tres comprende el cálculo de costos directos para la ejecución de la posible obra con el fin de identificar la viabilidad del proyecto.

Figura 20. Metodología Propuesta para el Diseño del Proyecto



3.1 Fase Uno. Diseño Estructural de la Cubierta

En esta fase del proyecto se detalló paso a paso el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el diseño estructural de la cubierta y sus elementos.

3.1.1 Predimensionamiento de los Elementos Estructurales

Para el predimensionamiento de la celosía que conforma la cubierta, se hizo un análisis sísmico para determinar la deformada, esto con el fin de determinar los parámetros y condiciones mínimas necesarias para que cada elemento estructural que conforma la celosía cumpla con lo estipulado en la normativa vigente colombiana NSR-10. Título F. El proceso de predimensionamiento de una celosía consta de las siguientes etapas[40]:

1. Estimación del canto de la celosía. El canto de la celosía se estima en función de las luces y las condiciones de apoyo. En el caso de cargas importantes es posible que las limitaciones de flecha obliguen a aumentar el canto.
2. Predimensionamiento de los cordones. La celosía se modela como una viga biapoyada, siendo la carga gravitatoria la correspondiente a la combinación de estado límite ultimo más desfavorable. El momento máximo (ecuación 3) se alcanza en la sección central, siendo su valor igual a:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (3)$$

3. Análisis de la deformación. Una vez determinado el dimensionamiento inicial de los cordones de la estructura, se procede a comprobar si la cubierta cumple con la limitación de flecha en el centro del vano, esta es igual a:

$$f_{max} < L/300, \quad (4)$$

Siendo:

L: la luz de la celosía. [m]

Fmax: Flecha máxima

Para calcular la flecha máxima se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{max} = 1,15 * \frac{5*q*L^4}{384*E*I_y} \quad (5)$$

Siendo:

q, la combinación de carga para el estado ultimo último. [N*m]

L, la longitud de la celosía. [m]

E, el módulo de deformación del acero. [Mpa]

Iy, el momento de inercia del conjunto formado por los dos cordones. [N*m²]

3.1.2 Análisis de Cargas

Una vez elaborado el predimensionamiento, se realizó un análisis estructural más detallado estimando las cargas vivas, muertas y las cargas de servicio de las cubierta para así poder determinar las dimensiones necesarias de la celosía para su correcto funcionamiento. Estas cargas están reglamentadas por el Reglamento Colombiano Construcción Sismo Resistente, Título B, el cual proporciona la información necesaria para los parámetros de diseño[41]. También se hallará el peso total de la estructura y las reacciones de acuerdo con las combinaciones de carga utilizadas.

3.1.3 Modelamiento y Diseño en CYPE3D

Una vez realizada la estimación de cargas, se dimensionaron los elementos estructurales de la cubierta, esto, se hizo mediante la herramienta CYPE3D, en donde se analizaron las condiciones de carga horizontal, vertical, de viento y de sismo con mayores solicitaciones en detalle para verificar que la estructura cumpla con todos los requerimientos de seguridad.

Después de dimensionar la cubierta, se desarrolló el modelamiento en 3D, donde se obtuvieron las acciones internas de los elementos que conforman el diseño considerando todas las conexiones rígidas, para todas las combinaciones de carga. Para finalizar, se procedió a revisar el estado límite de resistencia de las cargas críticas con el objetivo de que el diseño cumpla con todos los parámetros de combinaciones según la NSR-10[41].

3.1.4 Memorias de Cálculo y Planos

Se entregaron memorias de cálculo con el proceso de predimensionamiento y análisis de carga de la cubierta y se elaboraron los planos estructurales de todos los elementos que componen la cubierta liviana del polideportivo mediante la ayuda de la herramienta AUTOCAD.

3.2 Fase Dos. Diseño del Sistema de Captación.

Finalizado el diseño estructural de la cubierta, se continuó con la fase dos que es la implementación del diseño del sistema de captación de agua lluvia el cual es el enfoque principal del proyecto y se describirá a continuación.

3.2.1 Determinación de la Precipitación Promedio Mensual

A partir de los datos pluviométricos de los últimos 10 años se halló el valor promedio mensual de precipitación en el municipio de Bucaramanga. Para este diagnóstico, se recopilieron los datos pluviométricos de la ciudad mediante información suministrada por el IDEAM.

3.2.2 Cálculo de la Demanda de Agua Lluvia

El cálculo de la demanda (ecuación 6) se determinó a partir de la cantidad de agua que se necesite para atender las necesidades de cierto número de población beneficiada cada mes.

$$D = \frac{P * N * Dot}{1000} \quad (6)$$

Donde:

D= Demanda [m³]

P = Población [Habitantes]

Dot = Dotación [l/Hab/día]

N = Número de días [Días]

3.2.3 Determinación de la Oferta de Agua Lluvia y Volumen del Tanque de Almacenamiento

Con la información recopilada sobre las condiciones de precipitación media anual, se hallará aproximadamente la cantidad de agua que cae mensualmente para determinar el área en donde se podrá almacenar el agua captada de la cubierta. Se debe tener en cuenta que generalmente el 10% del agua lluvia no es recolectada por factores como el contenido de impurezas, la

evaporación o el desperdicio en lluvia de gran intensidad. Por lo tanto, se recomienda utilizar un tanque que pueda contener por mínimo el 25% de la lluvia estimada[42].

3.2.4 Determinación del Área de Captación

La superficie que se propuso como área de captación en el proyecto la cubierta de la estructura. Siempre debe tener en cuenta que las pérdidas de agua lluvia se ven afectadas por la pendiente y el tipo de material con el que se proponen.

3.2.5 Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento

El dimensionamiento del tanque de recolección de agua lluvia se realizó de acuerdo con la relación que hay entre la oferta y demanda de agua lluvia estimada anteriormente. Para el diseño del tanque de almacenamiento de agua potable se necesitó de información necesaria como lo fue: temperatura, peso específico del agua, material del tanque y se estableció la magnitud y dirección de las cargas externas que puedan originar deformación en el tanque.

Según el título J del reglamento Técnico del Sector Potable y Saneamiento Básico, el volumen del tanque de almacenamiento esta dado por la ecuación (7) [43]:

$$Volumen\ Tanque = \frac{P_p * C * A_c}{1000} \quad (7)$$

Donde:

P_p = Precipitación [mm]

C = Coeficiente de escorrentía [adimensional]

A_c = Área de captación [m²]

Una vez se ha determinado el volumen del tanque, se dimensiona mediante la siguiente ecuación.

$$V_{\text{tanque}} = a * b * (H_u + 0,20) \quad [\text{m}^3] \quad (8)$$

Donde:

a = Ancho del tanque [m]

b = Largo del tanque [m]

H_u = Altura útil del tanque [m]

V_{tanque} = Volumen del tanque [m³]

3.2.6 Sistema de Recolección y Conducción

El diseño de las tuberías para la conducción y distribución del agua que será captada por el sistema es igual al de un sistema hidráulico tradicional. Por lo cual, las tuberías de desagüe deben funcionar a flujo libre y en condiciones uniformes. Generalmente se usa la ecuación de Manning (ecuación 9).

$$Q = V * A = \frac{A}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{l/s}] \quad (9)$$

Donde:

Q = Caudal [l/s]

A = Área [m²]

n = Rugosidad de Manning [adimensional]

R = Radio hidráulico [m]

$S = \text{Pendiente } [\%]$

Para el diseño de los bajantes, se debe considerar el área de la cubierta que en este caso en específico es de 770 m². La norma NTC-1500 concierta que, para el cálculo del sistema de agua pluvial, se debe considerar una intensidad de precipitación adquirida a partir de las curvas de intensidad – frecuencia de la zona tal como se describe en la tabla 3, para un periodo mínimo de retorno de 15 años. Donde el caudal se halló como se muestra en la ecuación 10.

$$Q = C * I * A_c \quad [l/s] \quad (10)$$

Donde:

C = Coeficiente de impermeabilidad

I = Intensidad de precipitación [mm/ h*m²]

A_c = Área de captación [m²]

Tabla 3. *Dimensionamiento de Principales Bajantes de Agua Lluvia*

Diámetro nominal (mm)	Caudal máximo (l/s)	Área máxima permitida proyectada horizontalmente en m ² para diferentes intensidades					
		25 mm /h	50 mm /h	75 mm /h	100 mm /h	125 mm /h	150 mm /h
75	4,2	600	300	200	150	120	100
100	9,1	1286	643	429	321	257	214
125	16,5	2334	1117	778	583	467	389
150	26,8	3790	1895	1263	948	758	632
200	57,6	8175	4085	2725	2044	1635	1363

Nota: Adaptado de Código Colombiano de Fontanería NTC-1500[20].

3.2.7 Sistema Interceptor de Primeras Aguas

Al sistema de captación se le instaló un filtro de bajante, que es un dispositivo muy sencillo que se encarga de excluir cualquier tipo de desecho ya sea escombros, hojas, insectos, etc. Este filtro consta de una malla de acero inoxidable que permite el flujo del agua a través de ella, pero retiene cualquier otro material que será removido por su sistema de autolimpieza. Para que tenga una vida útil prolongada, este sistema deberá limpiarse una vez al mes.

Figura 21. *Filtro de Bajante*



Nota: Tomado de <https://cemat.es/producto/separador-de-hojas/>

3.2.8 Diseño de Bajantes y Canaletas

El trazado de la red de agua lluvia se diseñó conforme a lo establecido en el Código Colombiano de Fontanería NTC-1500[20].

3.2.9 Memorias de Cálculo y Planos

Se entregaron memorias de cálculo con el proceso dimensionamiento del tanque de almacenamiento y cálculos de su dimensionamiento. También se elaboraron los planos necesarios para el correcto diseño del sistema de captación con todos sus componentes.

3.3 Fase Tres. Presupuesto

Una vez completado el diseño de captación en la cubierta del polideportivo, se calcularon las cantidades de obra que se necesitaron para llevar a cabo la ejecución del proyecto para así chequear los costos de estos insumos para conocer el presupuesto total que se necesitó para llevar a cabo la construcción de la obra.

3.3.1 Cantidades de Obra

Para calcular las cantidades de obra del proyecto, se establecieron los materiales y sus respectivas cantidades para la cubrir con la totalidad de la obra.

3.3.2 Análisis de Precios Unitarios

Se realizó una valoración de los materiales, mano de obra, equipos y herramientas de conformidad analizando los precios actuales del mercado.

3.3.3 Presupuesto del Proyecto

El presupuesto se determinó a partir de los costos directos del proyecto.

3.3.4. Diagrama de Pareto

Una vez terminado el presupuesto del proyecto se desarrolló un diagrama de Pareto con el fin de saber cuál es la incidencia de cada elemento en el proyecto para conocer cuál de estos es vital y requerirá de un mayor análisis a detalle.

4. Resultados

4.1 Fase Uno. Diseño Estructural de la Cubierta

Para realizar el diseño de la cubierta liviana se tuvo en cuenta el Título F, Estructuras Metálicas, del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Para la geometría de la cubierta se planteó lo siguiente.

- Cubierta a dos aguas.
- El área total de la cubierta es de 726 m².
- Luz izquierda: 11.00 m
- Luz derecha: 11.00 m
- Acero en perfiles: acero estructural ASTM A572 50ksi de alta resistencia y baja aleación.
- La estructura cuenta con 4 pórticos, la separación que hay entre cada uno de ellos es de 11 m.
- El cerramiento de la cubierta será teja Metaldeck con un espesor de 80.00 mm.
- La altura de los pilares es de 6 m.
- La altura de la cumbrera es de 8 m.
- Los pórticos son simétricos al eje vertical.

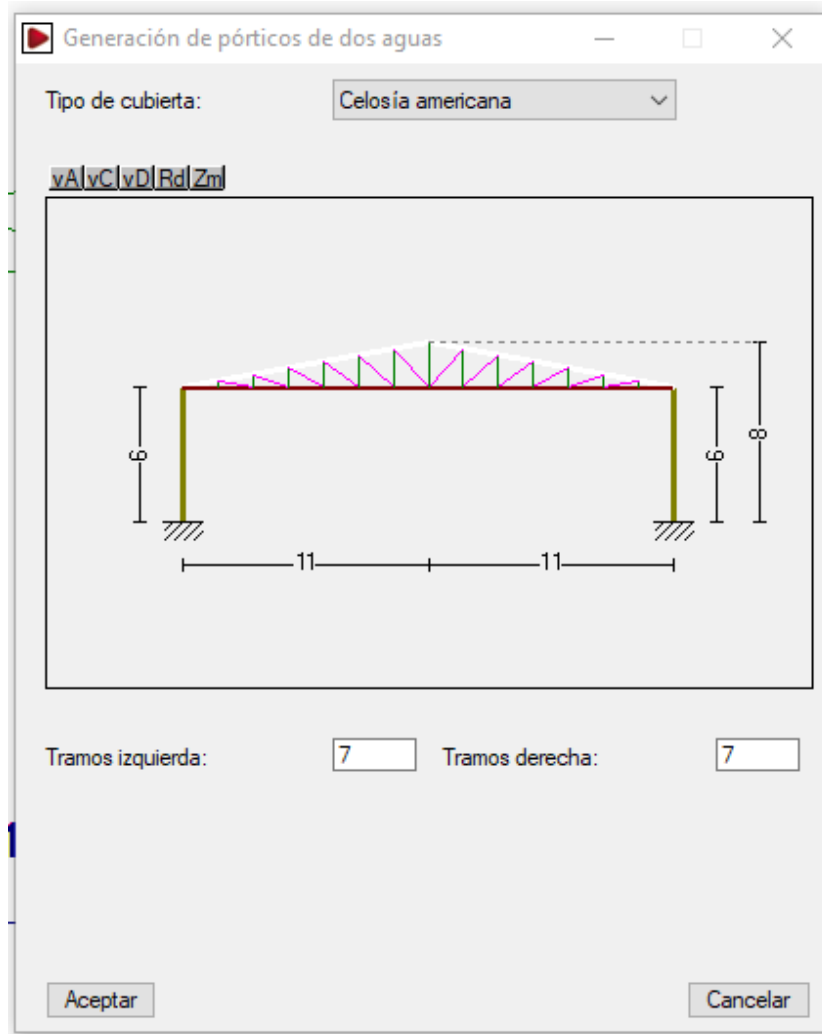
Tabla 4. *Propiedades Mecánicas del Acero*

Acero estructural de alta resistencia y baja aleación		
	F_y	F_u
ASTM A572	345 MPa	450 MPa
	50 ksi	65 ksi

Nota: tomado de cga.com.co

4.1.1 Predimensionamiento de los Elementos Estructurales

Para el predimensionamiento de los elementos estructurales como las correas de las cubiertas y la generación de las cargas al CYPE3D, se empleó el software Generador de Pórticos de CYPE Ingenieros. El tipo de cubierta que se escogió para el diseño fue en celosía americana que tendrá 14 tramos y una altura de cumbrera de 8m como se puede observar en la figura 22.

Figura 22. *Predimensionado de la Cubierta*

Luego de esto, se empezó a introducir los datos de las cargas que afectarían la estructura empezando por la carga de viento, la cual CYPE Ingenieros tiene implementado en su software para ser programado por el diseñador a su gusto. Para este caso, según la NSR-10 la categoría de uso de la edificación será II con una velocidad básica del viento de 22 m/s (Figura 23).

Figura 23. Normativa para el Cálculo de la Sobrecarga de Viento.

● NSR-10 Capítulo B.6 - Fuerzas de viento

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente
NSR-10 Capítulo B.6 - Fuerzas de viento

Categoría de uso 

☐ I ☒ II ☐ III ☐ IV

Todos los edificios y otras estructuras excepto las enumeradas en las categorías de uso I, III y IV..

Velocidad básica del viento m/s 

Categoría del terreno

☒ Única ☐ Según dirección

☒ B ☐ C ☐ D

La exposición B se aplicará donde la condición de rugosidad superficial del terreno, tal como se define para rugosidad superficial B, predomine a barlovento de la construcción en una distancia igual al mayor de los siguientes valores: 2.600 ft (792 m) o 20 veces la altura del edificio. Para edificios cuya altura media de la cubierta sea menor o igual a 30 ft (9,1 m), la distancia a barlovento de la construcción se puede reducir a 1.500 ft (457 m).

Clasificación según huecos 

☒ Única ☐ Según dirección

☒ Edificio abierto ☐ Edificio parcialmente cerrado ☐ Edificio cerrado

Orografía del terreno

☒ Llano

☐ Escarpaduras

☐ Colina 2D (alineación)

☐ Colina 3D (aislada)

También se determinan las combinaciones de carga para el cálculo de las correas con su respectiva normativa (Figura 24).

Figura 24. Datos Generales para el Predimensionamiento de las Correas.

The image shows a software dialog box titled "Datos generales" (General Data). It contains several input fields and checkboxes for configuring belt predimensioning. The "Número de vanos" (Number of spans) is set to 4. The "Separación entre pórticos" (Spacing between bays) is set to 11.00 m. There are three checked checkboxes: "Con cerramiento en cubierta" (Roof cladding), "Sobrecarga del cerramiento" (Roof cladding surcharge), and "Con sobrecarga de viento" (Wind surcharge). The corresponding values are 0.25 kN/m², 0.04 kN/m², and NSR-10 Capítulo B.6 - Fuerzas de viento (Colombia) respectively. There are also unchecked checkboxes for "Con cerramiento en laterales" (Side cladding) and "Con sobrecarga de nieve" (Snow surcharge). The "Combinaciones de cargas para cálculo de correas" (Load combinations for belt calculation) section includes "Estados límite" (Limit states) for "Acero conformado: AISI S100-2007 (LRFD)" and "Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)", both with "ASCE 7" selected. The "Desplazamientos" (Displacements) section has "Acciones características" (Characteristic actions) selected. The "Categorías de uso" (Use categories) section shows "Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)" and "Acero conformado: AISI S100-2007 (LRFD)" with a dropdown menu set to "Cubiertas" (Roofs). The dialog has "Aceptar" (Accept) and "Cancelar" (Cancel) buttons at the bottom.

Parameter	Value
Número de vanos	4
Separación entre pórticos	11.00 m
Con cerramiento en cubierta	Checked
Peso del cerramiento	0.25 kN/m²
Sobrecarga del cerramiento	0.04 kN/m²
Con cerramiento en laterales	Unchecked
Peso del cerramiento	0.10 kN/m²
Con sobrecarga de viento	Checked
Con sobrecarga de nieve	Unchecked
Combinaciones de cargas para cálculo de correas	
Estados límite	
E.L.U. de rotura. Acero conformado: AISI S100-2007 (LRFD)	ASCE 7 (Selected)
E.L.U. de rotura. Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)	ASCE 7 (Selected)
Desplazamientos	Acciones características (Selected)
Categorías de uso	Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD) Acero conformado: AISI S100-2007 (LRFD) Cubiertas (Selected)

Continuando con el dimensionamiento de las correas, se procede a aplicar los límites de flecha para conocer qué tipo de perfil y a qué separación deberán estar las correas. Para el proyecto se dimensionaron correas de perfil CF-200x3 de acero conformado ASTM 572 con una separación de 1.50 m (Figura 25).

Figura 25. Dimensionamiento de las Correas.

Comprobación de resistencia

El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.

Aprovechamiento: 43.41 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: CF-200x3.0

Material: ASTM A 572 50 ksi

Y



X

Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
0.738, 22.000, 6.134	0.738, 11.000, 6.134	11.000	10.20	588.29	45.90	0.31	-13.41	0.00
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad								
	Pandeo		Pandeo lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.				
β	0.00	1.00	0.00	0.00				
L _k	0.000	11.000	0.000	0.000				
C _m	1.000	1.000	-	-				
C _b	-		1.000					
Notación: β: Coeficiente de pandeo L_k: Longitud de pandeo (m) C_m: Coeficiente de momentos C_b: Factor de modificación para el momento crítico								

Tabla 5. Datos Generales de las Correas.

Datos de correas de cubierta.			
Descripción Correas		Parámetros de Cálculo	
Tipo de Perfil	CF-200X3.0	Límite de flecha	L/300
Separación	1,50 m	# de vanos	Dos vanos
Tipo de Acero	572 50 ksi	Tipo de fijación	Rígida
Comprobación de Resistencia		Comprobación de Flecha	
Aprovechamiento	39,43%	Aprovechamiento	65,40%
Medición de Correas			
Tipo de Correa	# de Correas	Peso Lineal	Peso Superficial
Correa de Cubierta	16	128,15 kg/m	0,06 KN/m²

Las comprobaciones de las cargas y el dimensionamiento de las correas de las cubiertas se encuentran en el Apéndice A. Dimensionamiento de las Cubiertas.

4.1.2 Análisis de Cargas

Para el análisis y la estimación de cargas, se tendrá en cuenta el peso propio de los materiales, la carga de uso de la cubierta, las cargas de viento y las cargas de sismo. Para las distintas situaciones del proyecto, las combinaciones de acciones se definieron de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones persistentes o transitorias (Ecuación 10)

(11)

- Situaciones sísmicas (Ecuación 11)

(12)

Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

A_E Acción sísmica

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

- γ_Q Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
- γ_{Qi} Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
- γ_A Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica

Para cada situación del proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar fueron tomados de la norma AISI S100 – 2007 a través del método Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Para el correcto diseño de la cubierta, lo primero que se hizo fue un análisis de la zona para determinar las condiciones de sismicidad. Esto se realizó mediante un espectro de cálculo (figura 26) en el que se concluyó que Bucaramanga es una zona con capacidad de disipación de energía especial (DES) debido a que es una zona con alta actividad sísmica.

Figura 26. *Espectro de Cálculo*

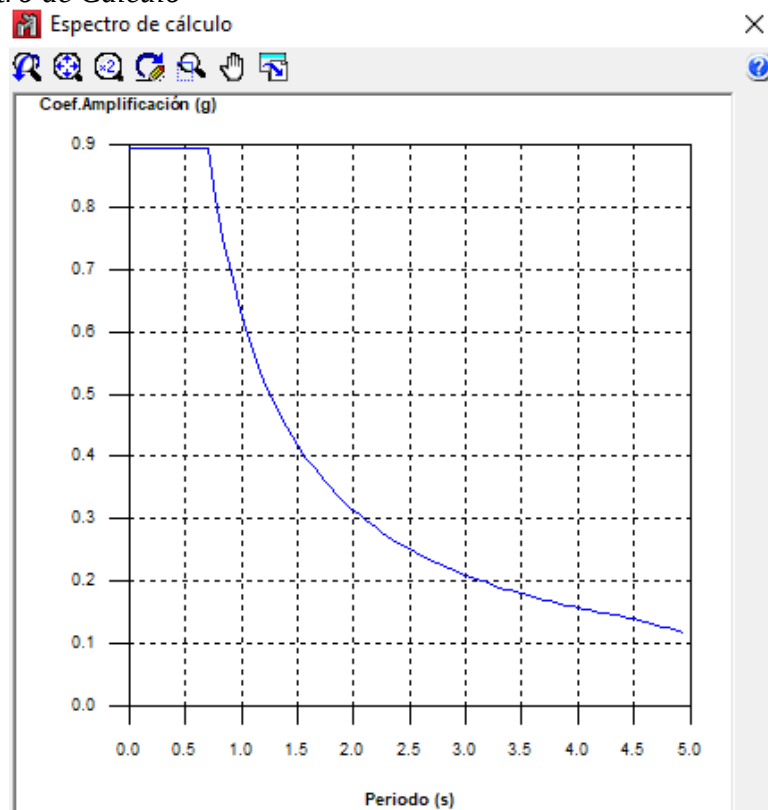


Tabla 6. *Datos Generales del Análisis Sísmico.*

Caracterización del emplazamiento		
A _a : Aceleración horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2)	A _a :	0.25 g
A _v : Velocidad horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2)	A _v :	0.25 g
V _m : Velocidad media de onda de cortante (NSR-10, A.2.4.3)	V _m :	180.00 m/s
Sistema estructural		
R _{0X} : Coeficiente de disipación de energía básico (X) (NSR-10, A.3)	R _{0X} :	5.00
R _{0Y} : Coeficiente de disipación de energía básico (Y) (NSR-10, A.3)	R _{0Y} :	5.00
F _a : Coeficiente de irregularidad en altura (NSR-10, A.3.3.5)	F _a :	0.80
F _p : Coeficiente de irregularidad en planta (NSR-10, A.3.3.4)	F _p :	0.80
F _{rX} : Coeficiente por ausencia de redundancia (X) (NSR-10, A.3.3.8)	F _{rX} :	0.75
F _{rY} : Coeficiente por ausencia de redundancia (Y) (NSR-10, A.3.3.8)	F _{rY} :	0.75
Geometría en altura (NSR-10, A.3.3.4 y A.3.3.5): Regular		
Tipo de edificación (NSR-10, A.2.5):		I
Parámetros de cálculo		
Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma	Según Norma	
Fracción de sobrecarga de uso	:	0.00
Fracción de sobrecarga de nieve	:	0.00
Factor multiplicador del espectro	:	1.00
Efectos de la componente sísmica vertical	No se consideran	

Luego, para el cálculo de las cargas propias de los materiales solo se tuvo en cuenta el peso del material con el que se cubrirá la cubierta, en este caso será teja Master 1000 grado 40 de Acesco

(figura 27), ya que el peso de los perfiles, forjados y conexiones CYPE3D se encarga de calcularlos al igual que las cargas por uso de la cubierta. El análisis de las cargas se encuentra en el anexo 2. Análisis de Cargas de la Cubierta.

Figura 27. Especificaciones Teja Master 1000

Especificaciones					
Espesor (mm)	Calibre	Recubrimiento (zinc)	Peso kg/m	Ancho útil (mm)	Acabado
0.36mm	28	Z 180 [180g/m ²]	3.19	1000	Galv/Pintada
0.45mm	26		4.05	1000	Galv/Pintada
0.60mm	24		5.49	1000	Galv/Pintada

Nota: Recuperado de <https://www.acesco.com.co>

4.1.3. Diseño de Conexiones

Para el diseño de conexiones se tomó como guía la norma ANSI/AISC 360-10. Capítulo J Diseño de Conexiones. Las prescripciones consideradas en este proyecto se aplican a uniones soldadas donde los aceros de las piezas a unir tienen un límite elástico no mayor a 100 ksi y las piezas soldadas no sean de sección tubular. El material de aportación de las soldadoras serán Electrodo de la serie E70XX. Para los materiales empleados y el procedimiento de soldadura de Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW), se cumplen todas las condiciones exigidas por el artículo J.2.6.

Tabla 7. Soldaduras

Soldaduras				
Clase de Resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de Cordones
E70XX	En taller	En ángulo	6	340
			9	6624
			10	24912
		A tope en bisel simple	11	2304
			9	2547
	En lugar de montaje	A tope en bisel simple con talón en raíz	13	5742
		En ángulo	12	12152

Los cordones de soldadura se han dimensionado de tal manera que su resistencia sea igual o superior a la pieza más débil unida a ella. Para ello, se tomó en cuenta los parámetros indicados el artículo J.2.4 ANSI/AISC 360-10.

Tabla 8. Placas de Anclaje

Placas de Anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A 572 50ksi	Placa base	8	650x700x25,4	725,78
	Rigidizadores	16	700/400x150/0x0,95	98,7
	Total			824,48
A-307 (liso)	Pernos de anclaje	64	Ø 28,6 - L = 874 + 326	386,3
	Total			386,3

Figura 28. Detalle de Soldadura Tipo 1.

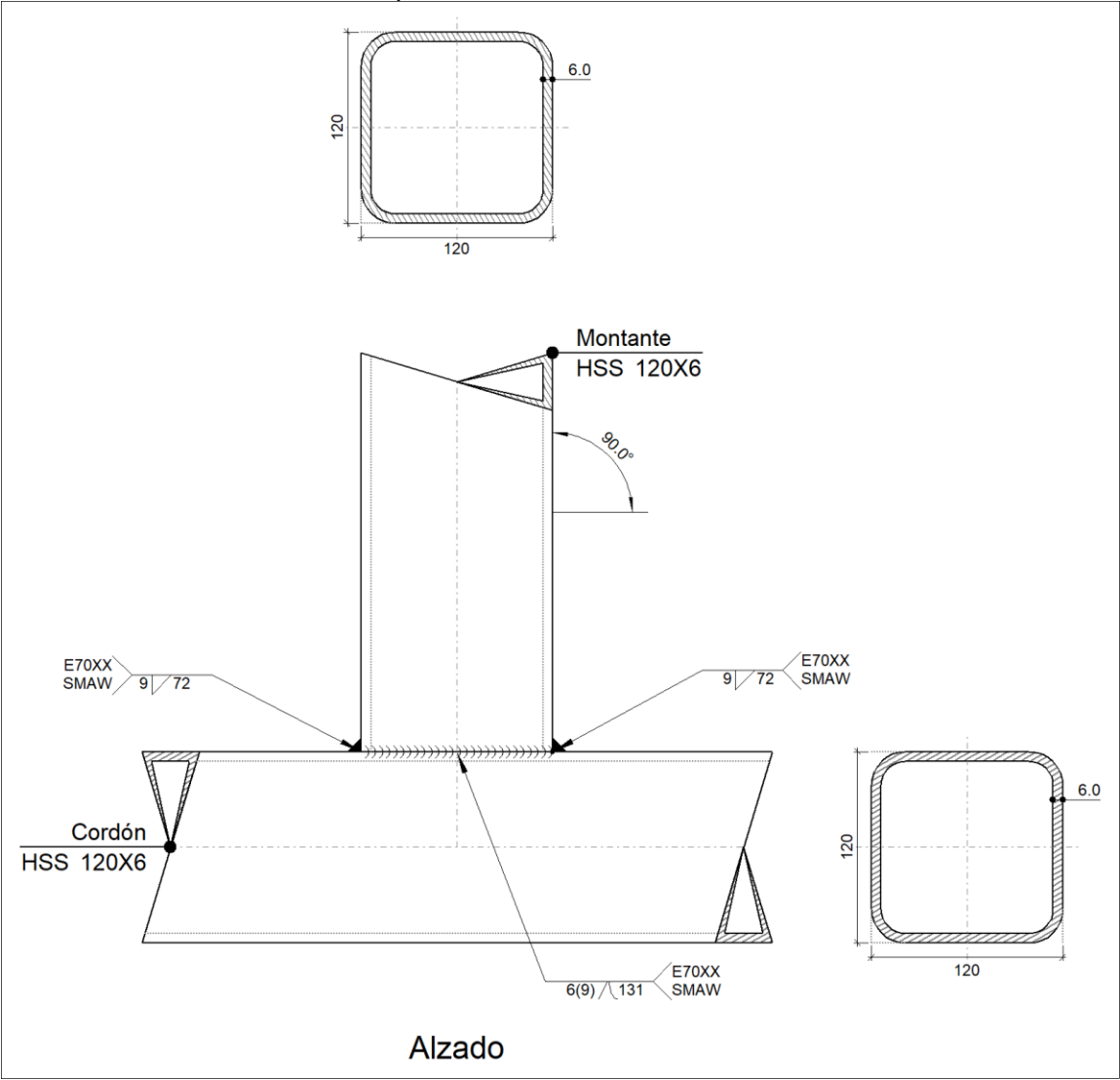


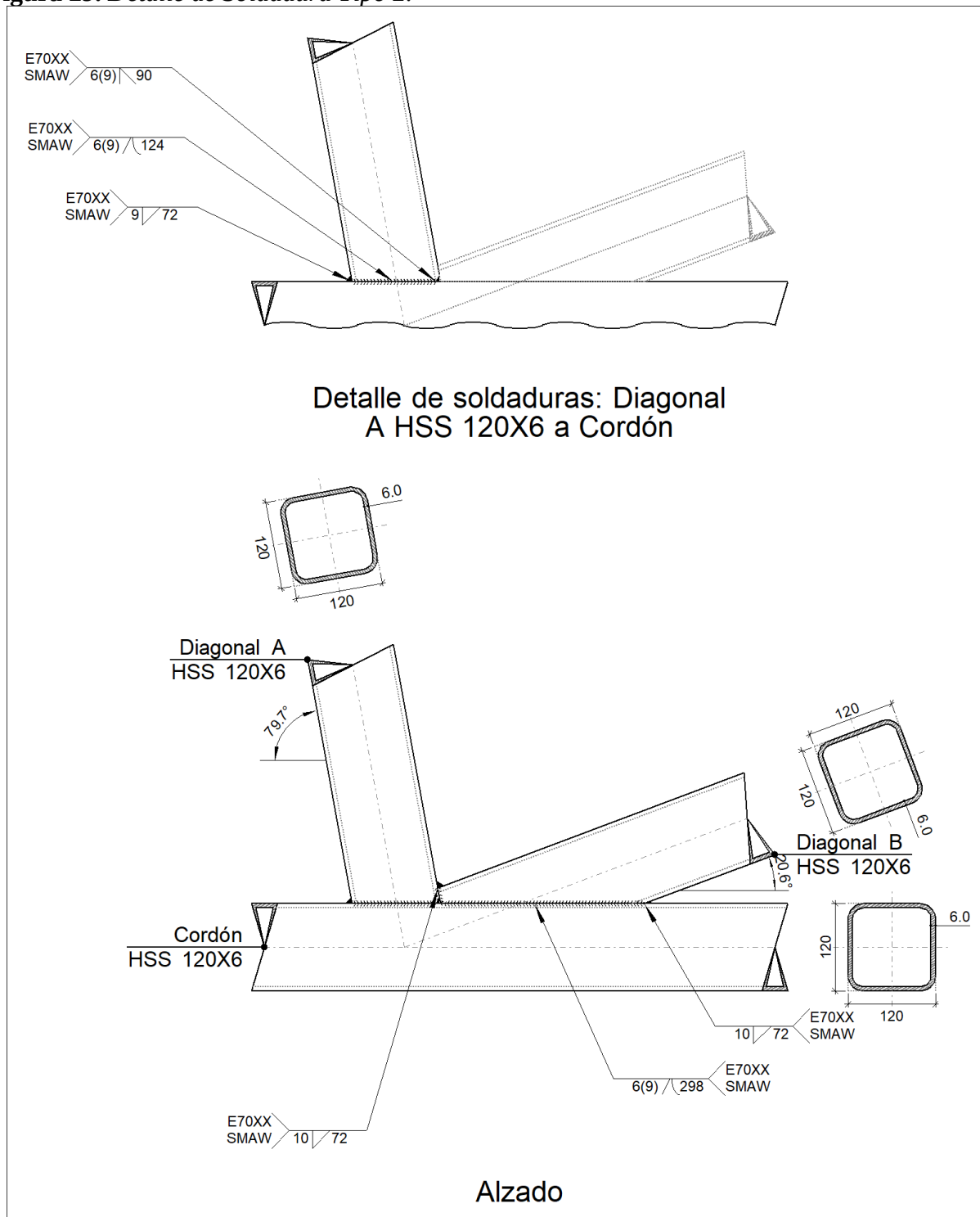
Figura 29. Detalle de Soldadura Tipo 2.

Figura 30. Detalle de Soldadura Tipo 3.

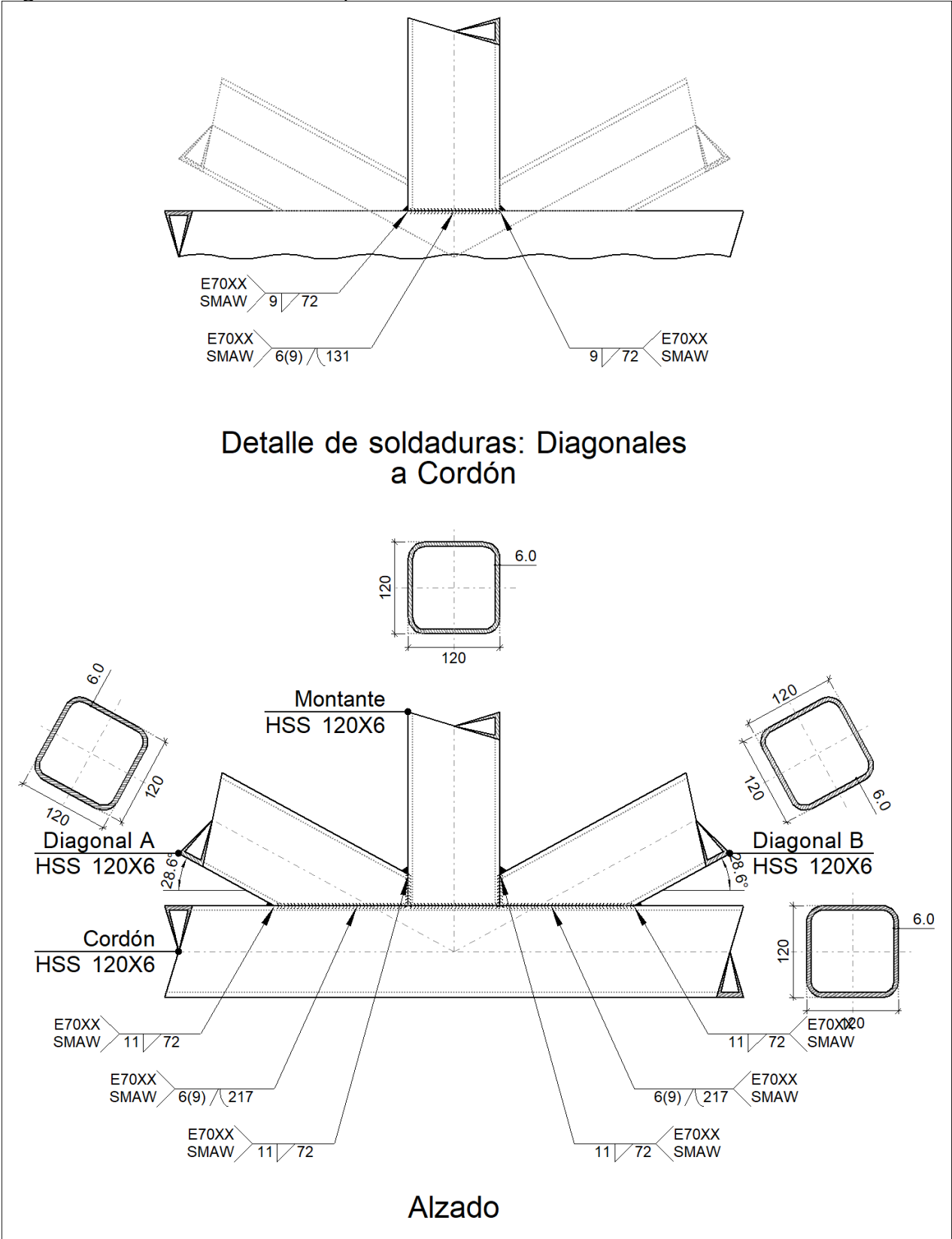
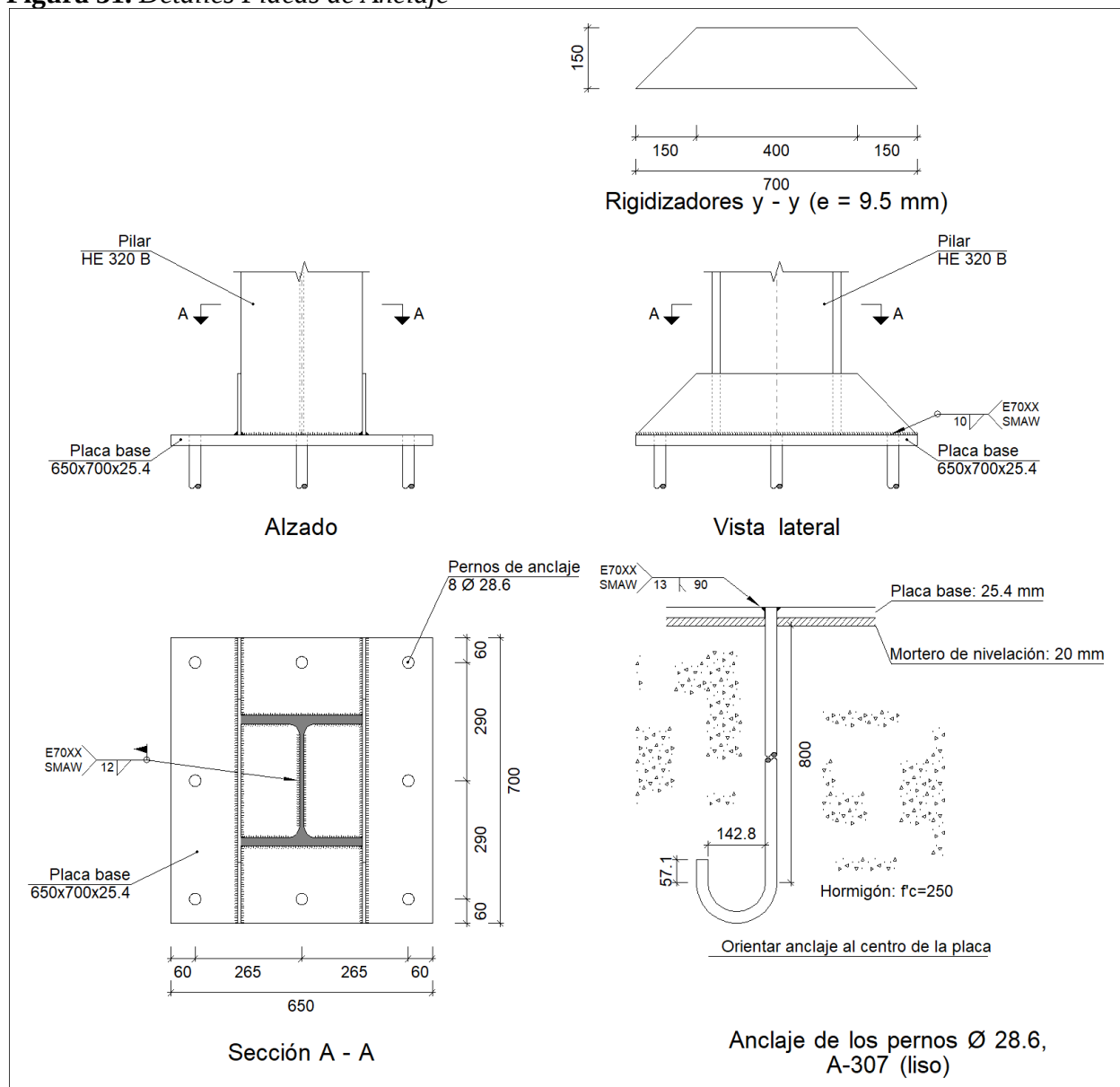


Figura 31. Detalles Placas de Anclaje

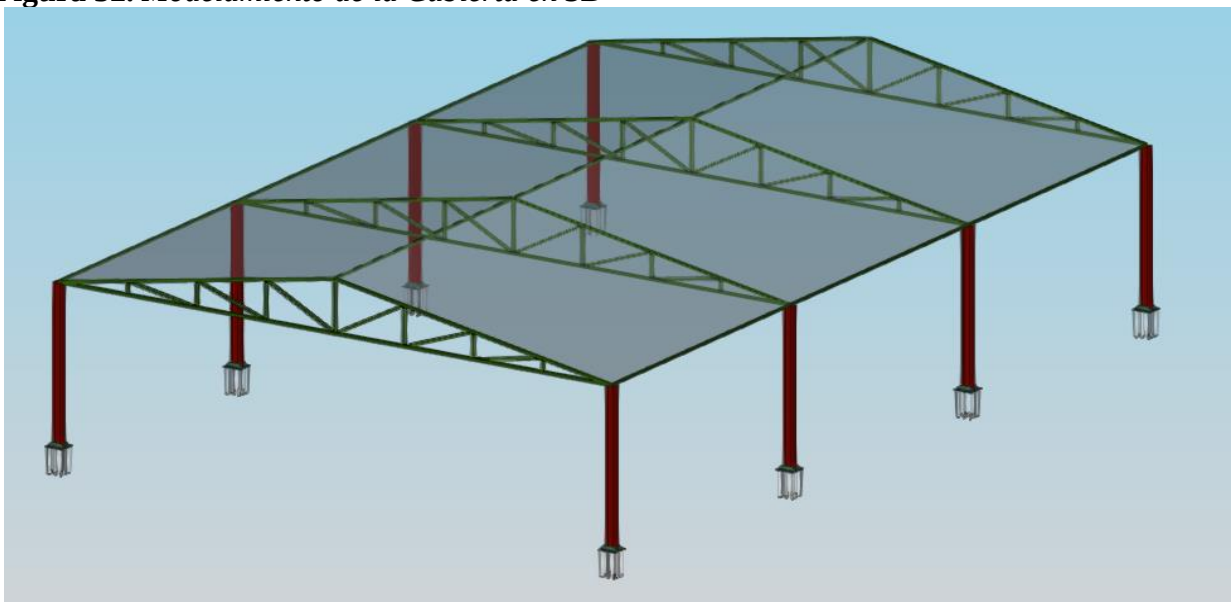
4.1.4. Modelamiento en CYPE3D

El último paso para el diseño de la cubierta fue el modelamiento en 3D a través de la herramienta CYPE3D, esto con el fin de comprobar que el dimensionamiento y los cálculos de cargas cumplan con todos los requisitos de seguridad según la norma.

Tabla 9. *Componentes de la Cubierta*

Descripción de la Cubierta		
Cubierta a dos aguas con pórticos en celosía americana con 12 tramos		
Datos Generales de la Cubierta		
	Tipo de Perfil	Tipo de Acero
Pilares	HE 320 B	A572 50ksi
Celosía	C-120,6	
Correas	C-130x3	
Peso de la Estructura (kg)	13450,39	
Módulo de elasticidad (Mpa)	200000	
Módulo de Poisson	0,300	

Obtenido el modelo propuesto con el cual se diseñó la propuesta para la cubierta, se comprobó una vez más que la cubierta cumpliera con todas las condiciones de carga con sus combinaciones ya mayoradas para así continuar con los planos estructurales que se necesitan para la ejecución del proyecto.

Figura 32. *Modelamiento de la Cubierta en 3D*

4.1.5. Planos Estructurales

Los planos estructurales con los detalles de los perfiles de la cubierta se encuentran en el anexo 4. Planos Estructurales de la Cubierta del Polideportivo.

4.2. Fase Dos. Diseño del Sistema de Captación

Después de conocer la geometría y las dimensiones de la cubierta, se implementó el diseño del sistema de captación el cual tendrá como función recolectar agua lluvia para que esta sea usada en el aseo de zonas comunes y en el uso de los baños del polideportivo.

4.2.1. Determinación de la Precipitación Promedio Mensual

Se indagó en la información suministrada por el IDEAM para realizar un diagnóstico de las condiciones del clima en Bucaramanga para determinar la precipitación promedio mensual. Esto se realizó teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitación desde el año 2010 hasta el año 2020 en el municipio (Tabla 10).

Tabla 10. Precipitación Promedio Mensual

Mes	Precipitación promedio
Enero	43,94 mm
Febrero	82,2 mm
Marzo	130,68 mm
Abril	111,57 mm
Mayo	121,49 mm
Junio	81,07 mm
Julio	84,97 mm
Agosto	99,58 mm
Septiembre	97,81 mm
Octubre	168,73 mm
Noviembre	128,12 mm
Diciembre	53,4 mm

4.2.2. Cálculo de la Demanda de Agua Lluvia

Se determinó la dotación por persona para calcular la cantidad de agua necesaria cada mes. La dotación se determina a partir de la resolución 0330 del 8 de Junio de 2017 artículo 43, dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar[25].

Tabla 11. Dotación Máxima por Habitante

Altura promedio sobre el nivel del mar.	l/hab/día
> 2000 msnm	120
1000 - 2000 msnm	130
< 1000 msnm	140

Nota: Tomado de : Resolución 0330 del 8 de Junio de 2017 [25]

Como la ubicación del proyecto se encuentra en la ciudad de Bucaramanga que tiene una altitud de 959 m.s.n.m se determinó que la dotación neta en este caso es de 140 l/hab/día. Ya conociendo esto, se determinó la demanda mensual de agua lluvia.

Tabla 12. *Demanda Mensual de Agua Lluvia*

Mes	# días (N)	Dotación	Demanda
Enero	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Febrero	28	140 l/hab/día	58,8 m ³
Marzo	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Abril	30	140 l/hab/día	63 m ³
Mayo	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Junio	30	140 l/hab/día	63 m ³
Julio	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Agosto	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Septiembre	30	140 l/hab/día	63 m ³
Octubre	31	140 l/hab/día	65,1 m ³
Noviembre	30	140 l/hab/día	63 m ³
Diciembre	31	140 l/hab/día	65,1 m ³

4.2.3. Cálculo de la Oferta de Agua Lluvia y Volumen del Tanque de Almacenamiento

Para el cálculo del tamaño del tanque de recolección se tiene en cuenta el agua lluvia y la demanda acumuladas, por lo cual la capacidad del tanque se calcula como el exceso de agua por encima del consumo. Para este caso en particular, el volumen del tanque de almacenamiento calculado será de 10.000 litros. (Figura 33).

Figura 33. *Determinación del Volumen del Tanque de Almacenamiento*

Mes	Precipitación	Almacenamiento		Demanda		Dif. Mensual	Dif acumulada
		V. Captado	V. Acumulado	D. parcial	D. acumulado		
Enero	43,94 mm	28,71 m ³	28,710 m ³	65,1 m ³	65,1 m ³	-36,390 m ³	-36,390 m ³
Febrero	82,2 mm	53,71 m ³	82,420 m ³	58,8 m ³	123,9 m ³	-5,091 m ³	-41,480 m ³
Marzo	130,68 mm	85,39 m ³	167,806 m ³	65,1 m ³	189 m ³	20,286 m ³	-21,194 m ³
Abril	111,57 mm	72,90 m ³	240,706 m ³	63 m ³	252 m ³	9,900 m ³	-11,294 m ³
Mayo	121,49 mm	79,38 m ³	320,088 m ³	65,1 m ³	317,1 m ³	14,282 m ³	2,988 m ³
Junio	81,07 mm	52,97 m ³	373,059 m ³	63 m ³	380,1 m ³	-10,029 m ³	-7,041 m ³
Julio	84,97 mm	55,52 m ³	428,578 m ³	65,1 m ³	445,2 m ³	-9,581 m ³	-16,622 m ³
Agosto	99,58 mm	65,07 m ³	493,644 m ³	65,1 m ³	510,3 m ³	-0,034 m ³	-16,656 m ³
Septiembre	97,81 mm	63,91 m ³	557,553 m ³	63 m ³	573,3 m ³	0,909 m ³	-15,747 m ³
Octubre	168,73 mm	110,25 m ³	667,801 m ³	65,1 m ³	638,4 m ³	45,148 m ³	29,401 m ³
Noviembre	128,12 mm	83,71 m ³	751,515 m ³	63 m ³	701,4 m ³	20,714 m ³	50,115 m ³
Diciembre	53,4 mm	34,89 m ³	786,406 m ³	65,1 m ³	766,5 m ³	-30,208 m ³	19,906 m ³
		Oferta de agua	786,41 m ³			Máx	45,148 m ³
		Dotación max	143,636 l/hab			Mín	-36,390 m ³
						Vregulación	8,76 m ³
						Vtotal	9758,578 Litros

4.2.4. Determinación del Área de Captación.

Como se ha mencionado anteriormente, la superficie que se usará para captar el agua lluvia será la cubierta de la estructura. Esta será teja Master 1000 Acesco y tendrá una pendiente de 18 %, que será impermeabilizada con el objetivo de que no se contamine el agua pluvial. El área total de la cubierta es de 726 m².

4.2.5. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.

Obtenido el volumen del tanque de almacenamiento, que es de 10.000 litros, se halló el valor del área donde será ubicado mediante la ecuación 7 para proponerle dimensiones al tanque.

Figura 34. *Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.*

Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento			
Volumen	10000,00 m ³		
Altura Útil	2 m	Ancho del tanque	2 m
Área	5 m ²	Largo del tanque	2,5 m

Consultando catálogos comerciales en Homecenter, se escogió un tanque de almacenamiento de polietileno de Colempaques de 10000 L con dimensiones 276x256 cm (Figura 32).

Figura 35. *Tanque de Almacenamiento para el Sistema de Captación.*

Nota: Tomado de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/61695/tanque-10000-litros>

Figura 36. *Ficha Técnica Tanque de Almacenamiento*

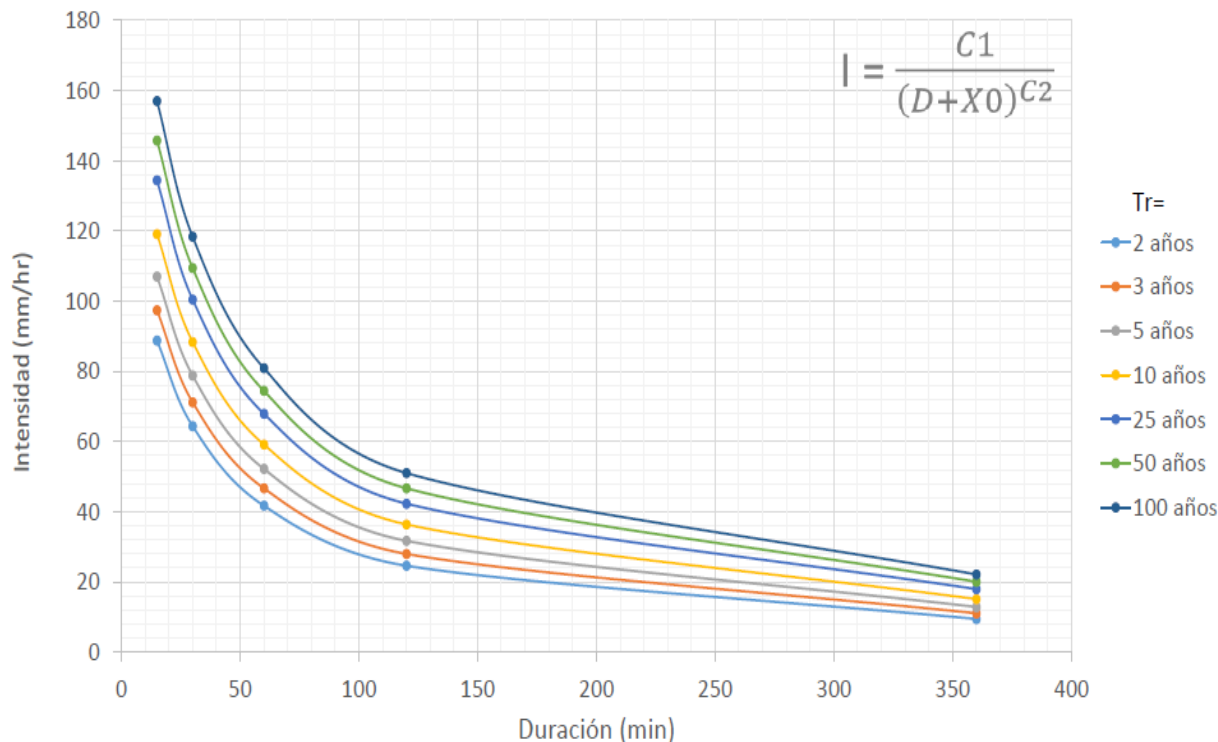
Ficha técnica	
Garantía	1 Año
Tipo	Tanque almacenamiento
Medidas	276x256 cm
Características	Aprobados por la F.D.A. Cumplen con el método de Migración Global para plásticos, avalado por la ONAC (Universidad Nacional). NTC 5022 y NTC 4384, de fabricación para proceso de Rotomoldeo. Evitan la producción de algas y bacterias debido a su color negro. Son Tanques de fácil manejo para su instalación, transporte y almacenamiento. Poseen aletas que permiten que la tapa permanezca fija. Poseen aditivo U.V. que bloquea los rayos ultravioleta, haciéndolos resistentes a la intemperie.
Capacidad	10.000 Litros
Material	Polietileno
Certificación	NTC 4384
Uso	Industrial / Residencial / Institucional
Origen	Colombia
Incluye	Juego de Accesorios (Manguera Flexible)

Nota: Tomado de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/61695/tanque-10000-litros>

4.2.6. Sistema de Recolección y Conducción

Para el sistema de recolección y conducción se necesitó determinar la intensidad de precipitación. Para ello, se requirieron los datos de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación de la Universidad Industrial de Santander en donde, según lo estipulado en el artículo 12.1.11.1.1. del Código Colombiano de Fontanería NTC-1500 (figura 37), se determinó que con un Tiempo de Retorno (T_r) de 15 años con una duración (D) de 30 minutos el valor de la intensidad (I) es de 100.8 mm/hora (Figura 38). Esto equivale a 280 litros por segundo por hectárea (lps/ha), según la norma técnica NTC-1500 (figura 40).

Figura 37. Curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia - IDF. Estación: Universidad Industrial de Santander



TR (años)	C1	X0	C2
2	3079.935	23.384	0.972
3	2971.260	22.941	0.940
5	2947.618	22.695	0.913
10	2998.280	22.597	0.889
25	3133.469	22.655	0.868
50	3264.307	22.768	0.856
100	3410.894	22.910	0.847

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	88.8	97.6	107.3	119.5	135.0	146.5	157.9
30	64.4	70.9	78.2	87.3	98.9	107.4	115.9
60	41.8	46.9	52.7	60.0	69.2	76.0	82.7
120	24.7	28.2	32.1	36.9	43.0	47.5	52.0
360	9.4	10.8	12.4	14.4	16.9	18.7	20.6

Nota: Tomado de http://www.ideam.gov.co/documents/10182/24541172/IDF_23195040_UNIV_IND_SANTANDER.pdf/065b04cd-362a-4c1f-ba4a-ce29aad5a76e?version=1.0

Figura 38. Periodo de Retorno para el Cálculo de Bajantes.

12.1.11.1 Todos las áreas de cubierta de un edificio deben ser evacuadas por la red de desagües de aguas lluvias. Para el cálculo de caudales de sistemas de aguas lluvias se considerará una intensidad de precipitación obtenida a partir de las curvas de intensidad - frecuencia propias de la zona, para un período de retorno mínimo de 15 años y una duración de 30 min, suministradas por la entidad competente.

Nota: Tomado del Código Colombiano de Fontanería NTC-1500[20].

El caudal que puede transportar un bajante se da en función de la relación del área del anillo del agua pegado a las paredes con el área de sección total[44]. Para calcular el caudal máximo transportado por la bajante se usó la ecuación 12.

$$q = 1.754r_3^5 d_3^8 \quad (13)$$

Donde:

q: Caudal [l/s]

r: Relación de la áreas del anillo de agua a la sección de la tubería [adimensional]

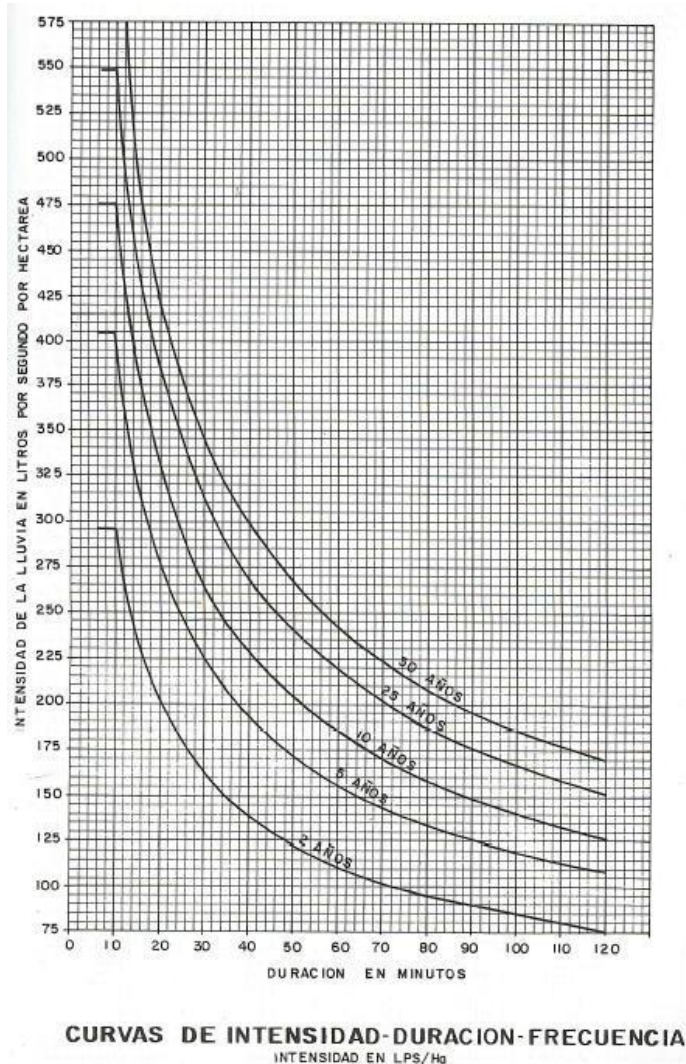
d: Diámetro de la bajante [pulgadas]

Según la NTC-1500 las dimensiones de los bajantes y colectores están basadas en los caudales correspondientes a una relación de llenado de 7/24[20].

Figura 39. Dimensionamiento de Desagües Principales de Cubierta, Ramales y Bajantes de Agua Lluvia.

Diámetro nominal mm	Caudal, máximo L/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m ² para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
75	4,2	600	300	200	150	120	100
100	9,1	1 286	643	429	321	257	214
125	16,5	2 334	1 117	778	583	467	389
150	26,8	3 790	1 895	1 263	948	758	632
200	57,6	8 175	4 088	2 725	2 044	1 635	1 363

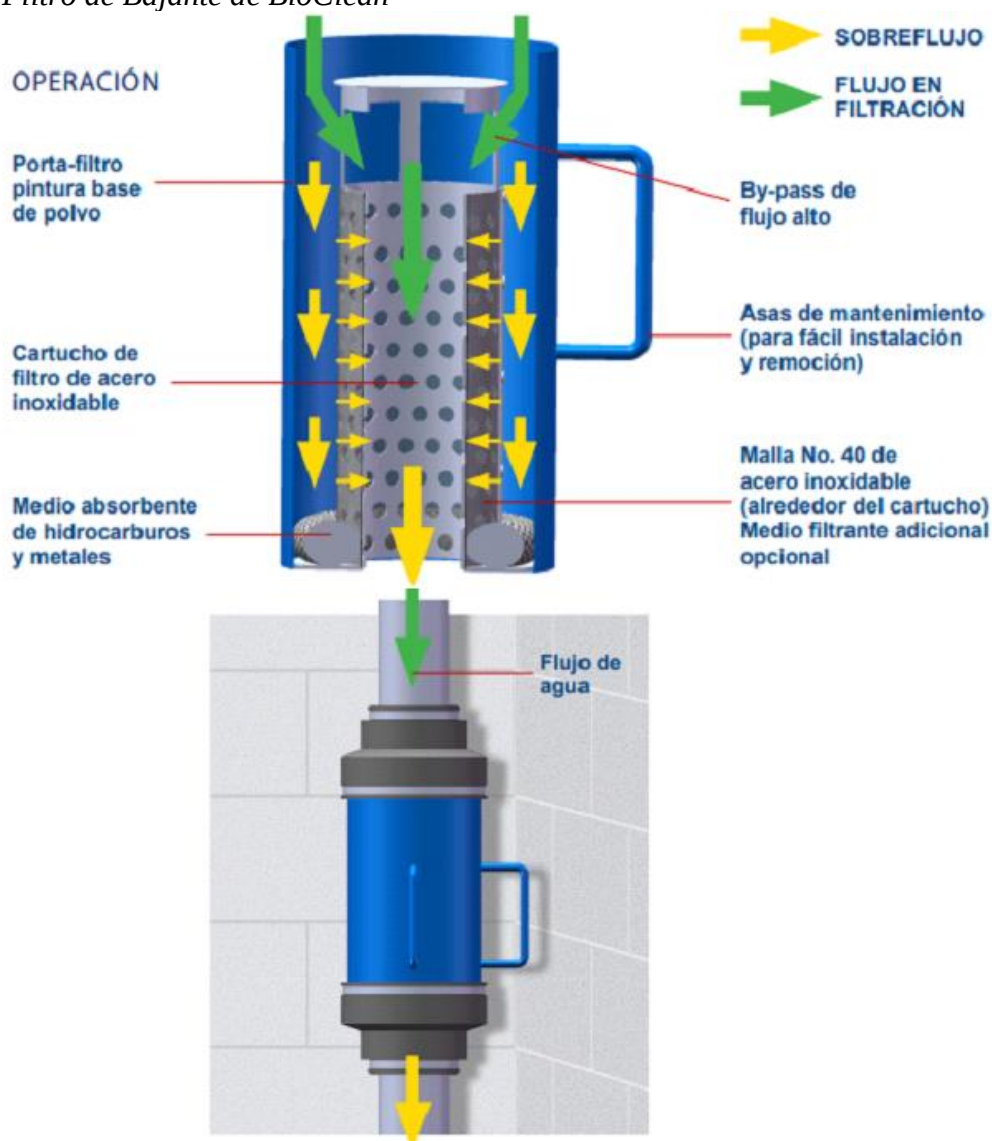
Nota: Tomado del Código Colombiano de Fontanería NTC-1500[20].

Figura 40. *Curvas de Intensidad Duración Frecuencia en LPS/Ha*

Nota: Tomado de Código Colombiano de Fontanería NTC-1500[20].

4.2.7. Sistema Interceptor de Primeras Aguas

El filtro de bajante pluvial Downspout Filter de BioClean fue el escogido para el sistema ya que es muy efectivo en la remoción de hidrocarburos, metales, nutrientes y bacterias con un 93% de efectividad y tiene una garantía de 5 años.

Figura 41. *Filtro de Bajante de BioClean*

Nota: Tomado de http://sistemamid.com.ar/panel/uploads/biblioteca/2014-07-09_08-23-13106760.pdf

4.2.8. Diseño de Bajantes y Colectores

Para el diseño de los bajantes, el caudal se obtiene a partir del método racional de la ecuación 1. Donde el área de la cubierta (A) es de 363 m², la intensidad de lluvia (I) que se calculó anteriormente es de 0,0280 mm/h*m² y el coeficiente de impermeabilidad (C) es 1.

$$Q = C \cdot I \cdot A = 10.164 \text{ l/s} \quad (14)$$

Según el caudal ya calculado, el diámetro nominal para los bajantes debe ser de 5” como lo explica Pérez Carmona en su Manual de Instalaciones Hidrosanitarias, de Gas y de Aprovechamiento de Agua Lluvia en Edificaciones[45].

Tabla 13. *Capacidad Máxima en Bajantes.*

Capacidad Máxima de Bajantes	
Diámetro (pulgadas)	Caudal para $r= 7/24(l/s)$
2	1,4
3	4,2
4	9,1
5	16,5
6	26,8
8	57,6
10	104
12	169,8

Nota: Recuperado de Pérez Carmona (2019)[45]

Para el diseño de colectores, que son las tuberías horizontales que transportan el agua lluvia captada hacia su disposición final se utilizan las tablas de Manning y deben cumplir parámetros de diseño según las normas técnicas colombianas que se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Dimensiones para la Tubería Horizontal de Agua Lluvia.

Cálculo del Colector de Agua Lluvia.					
		Intensidad de Lluvia (mm/h)			
Diámetro del Conducto		100	125	100	125
		Pendiente 1 %		Pendiente 2 %	
		Proyección horizontal en m² de área servida			
75 mm (3")		75	60	108	86
100 mm (4")		175	140	246	197
125 mm (5")		310	248	438	351
150 mm (6")		497	398	701	561
250 mm (8")		1068	855	1514	1211

Para el sistema de conducción del agua captada hacia el tanque de almacenamiento se planteó el uso de colectores de diámetro de 6" que el área servida del proyecto es de 323 m² y el diámetro de los bajantes es de 5" de diámetro, su material será en PVC (tabla. 15)

Tabla 15. *Cálculo de las Dimensiones de Bajantes y Colectores.*

Cálculo de Bajantes					
Numero de Bajante	Propia (m²)	Área Acumulada (m²)	Caudal Q (l/s)	Dimensión L (m)	Ø (in)
1	323	323	10,164 l/s	16	5
2	323	323	10,164 l/s	16	5

Cálculo de Colectores.					
Intensidad (mm/h)			100.8		
Pendiente (%)			2		
Proyección (m²)			363 m²		
Diámetro del Conducto	100		125	100	125
	Pendiente 1 %		Pendiente 2 %		
Proyección horizontal en m² de área servida					
75 mm (3")	75		60	108	86
100 mm (4")	175		140	246	197
125 mm (5")	310		248	438	351
150 mm (6")	497		398	701	561
250 mm (8")	1068		855	1514	1211
Diámetro escogido (in)				6	

4.2.9. Planos del Sistema de Captación

Los planos correspondientes al sistema de captación de agua lluvia para la cubierta del polideportivo se podrán encontrar en el anexo 4. Planos del Sistema de Agua Lluvia.

4.3. Presupuesto

En esta fase del proyecto se presentará el presupuesto y el estado de mediciones de materiales necesario para la ejecución de la construcción de la cubierta con su sistema de captación.

4.3.1. Cantidades de Obra

Para el cálculo de las cantidades de obra fue necesario identificar las actividades constructivas que componen el proyecto y por lo tanto todos los elementos y materiales que lo componen con su unidad de medida. Para este proyecto en específico las cantidades que se necesitaron se encuentran descritas en la tabla 16. Cantidades de Obra.

Tabla 16. *Cantidades de Obra.*

1. Cubierta Metálica		
Descripción	Unidad Medida	Cantidad
Perfil C 120x3.0	Kg	559,76
Perfil HEB 320	Kg	6077,78
Perfil HSS 120x6.0	Kg	5602,07
Perfil CF 200x3.0	Und	44
Teja Master 1000 Grado 40	Und	241
2. Sistema de Captación		
Descripción	Unidad Medida	Cantidad
Tanque Polietileno de 10000 L	Und	1
Tubería Canal de 5"	m	24
Tubería Bajante de 6"	m	110
Tubería de 4"	m	77
Codo 5"	Und	10
Filtro de Bajante	Und	1
Tee de 5"	Und	2
Buje de Reducción de 5" a 4"	Und	2
Codo de 2"	Und	2
Unión Bajante- Canal	Und	8

4.3.2. Análisis de Precios Unitarios

El Análisis de Precios Unitarios se realizó mediante una valoración de los materiales de conformidad analizando los precios actuales del mercado los cuales fueron tomados de CONSTRUDATA, el generador de precios de CYPECAD y SODIMAC.

Tabla 17. Análisis de Precios Unitarios

1. Cubierta Metálica				
Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Valor Unitario (\$)	
Perfil C 120x3.0	Kg	559,76	\$	2.003
Perfil HEB 320	Kg	6077,78	\$	2.003
Perfil HSS 120x6.0	Kg	5602,07	\$	2.389
Perfil CF 200x3.0	Und	44	\$	815.788
Teja Master 1000 Grado 40	Und	241	\$	43.500
2. Sistema de Captación				
Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Valor Unitario (\$)	
Tanque Polietileno de 10000 L	Und	1	\$	5.498.000
Tubería Canal de 5"	m	24	\$	29.600
Tubería Bajante de 6"	m	110	\$	24.533
Tubería de 4"	m	77	\$	23.900
Codo 5"	Und	10	\$	5.270
Filtro de Bajante	Und	1	\$	159.720
Tee de 5"	Und	2	\$	4.739
Buje de Reducción de 5" a 4"	Und	2	\$	44.400
Codo de 2"	Und	2	\$	2.250
Unión Bajante- Canal	Und	8	\$	23.900

4.3.3. Presupuesto

Ya obtenidas las cantidades de obra y conociendo su valor en el mercado, se hizo el presupuesto del proyecto teniendo en cuenta todos los materiales necesarios para este el cual dio un valor de ochenta y cuatro millones trescientos nueve mil cuatrocientos ochenta y nueve pesos (\$ 84.309.489).

Tabla 18. Presupuesto del Proyecto

1. Cubierta Metálica					
Ítem	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor parcial (\$)
1.1	Perfil C 120x3.0	Kg	559,76	\$ 2.003	\$ 1.121.160
1.2	Perfil HEB 320	Kg	6077,78	\$ 2.003	\$ 12.173.368
1.3	Perfil HSS 120x6.0	Kg	5602,07	\$ 2.389	\$ 13.383.065
1.4	Perfil CF 200x3.0	Und	44	\$ 815.788	\$ 35.894.668
1.5	Teja Master 1000 Grado 40	Und	241	\$ 43.500	\$ 10.483.500
Total					\$ 73.055.761
2. Sistema de Captación					
Ítem	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor parcial (\$)
2.1.	Tanque Polietileno de 10000 L	Und	1	\$ 5.498.000	\$ 5.498.000
2.2.	Tubería Canal de 5"	m	24	\$ 29.600	\$ 710.400
2.3.	Tubería Bajante de 6"	m	110	\$ 24.533	\$ 2.698.630
2.4.	Tubería de 4"	m	77	\$ 23.900	\$ 1.840.300
2.5.	Codo 5"	Und	10	\$ 5.270	\$ 52.700
2.6.	Filtro de Bajante	Und	1	\$ 159.720	\$ 159.720
2.7.	Tee de 5"	Und	2	\$ 4.739	\$ 9.478
2.9.	Buje de Reducción de 5" a 4"	Und	2	\$ 44.400	\$ 88.800
2.10.	Codo de 4"	Und	2	\$ 2.250	\$ 4.500
2.11.	Unión Bajante- Canal	Und	8	\$ 23.900	\$ 191.200
Total					\$ 11.253.728
Total Presupuesto					\$ 84.309.489

4.3.4. Diagrama de Pareto

Con el objetivo de conocer cuales con las actividades que más incidencia tienen en el proyecto y que tan importantes se realizó un diagrama de Pareto (figura 42) en donde se pudo evidenciar que la implementación del sistema de captación, en comparación con el área de la cubierta y todos sus componentes estructurales, puede ser viable debido a que no genera un gasto muy considerable en el diseño integral del proyecto.

Figura 42. Diagrama de Pareto

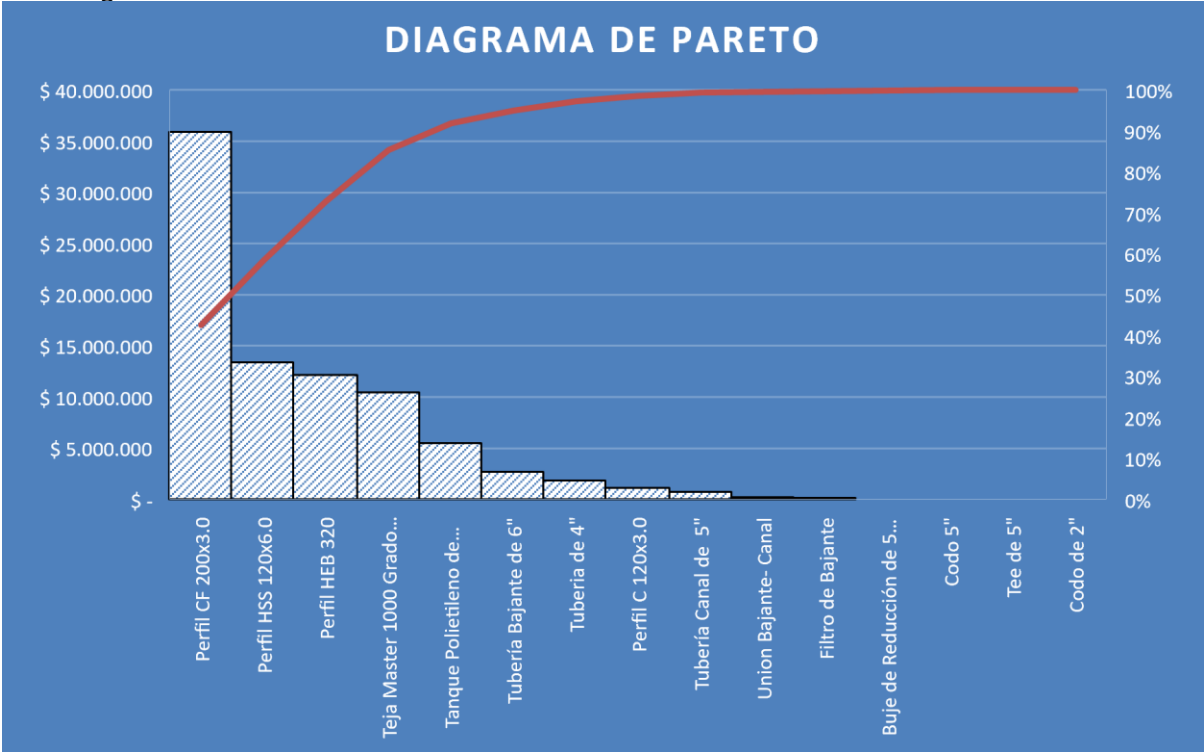


Tabla 19. *Porcentaje de Incidencia de los Materiales para el Proyecto.*

Descripción	Valor Parcial	% Incidencia	% I. Acumulado
Perfil CF 200x3.0	\$ 35.894.668	42,57%	42,57%
Perfil HSS 120x6.0	\$ 13.383.065	15,87%	58,45%
Perfil HEB 320	\$ 12.173.368	14,44%	72,89%
Teja Master 1000 Grado 40	\$ 10.483.500	12,43%	85,32%
Tanque Polietileno de 10000 L	\$ 5.498.000	6,52%	91,84%
Tubería Bajante de 6"	\$ 2.698.630	3,20%	95,04%
Tubería de 4"	\$ 1.840.300	2,18%	97,23%
Perfil C 120x3.0	\$ 1.121.160	1,33%	98,56%
Tubería Canal de 5"	\$ 710.400	0,84%	99,40%
Unión Bajante- Canal	\$ 191.200	0,23%	99,63%
Filtro de Bajante	\$ 159.720	0,19%	99,82%
Buje de Reducción de 5" a 4"	\$ 88.800	0,11%	99,92%
Codo 5"	\$ 52.700	0,06%	99,98%
Tee de 5"	\$ 9.478	0,01%	99,99%
Codo de 2"	\$ 4.500	0,01%	100,00%
Total Costos Directos	\$ 84.309.489		

5. Conclusiones

Según los datos que se pudieron recopilar del IDEAM, en el municipio de Bucaramanga, la precipitación promedio anual de lluvias es muy favorable para buscar alternativas que posibiliten la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia como una alternativa más

sostenible y esto represente una reducción en el consumo de agua potable. Más que todo cuando se trata de las labores domésticas, de riego de zonas verdes y comunes o de uso en los baños.

El diseño del sistema de captación siempre será afectado por la oferta de agua lluvia ya que su eficiencia varia positiva o negativamente según la variación relacionada con las temporadas de lluvia. En el caso de Bucaramanga, los meses de Marzo, Abril, Mayo, Octubre y Noviembre serán los periodos con mayor probabilidades de lluvia (superávit) y los meses de Enero, Junio y Julio los de mayor déficit a causa de las temporadas de sequía.

Se selecciono un sistema estructural tipo pórtico biempotrado de elementos en celosía ya que se necesita que la disposición de la estructura disponga de grandes luces para que el polideportivo pueda ser totalmente funcional. Por lo cual se han escogido perfiles de acero estructural ASTM A572 de alta resistencia.

El software CYPECAD es una herramienta que facilita mucho el diseño y modelamiento de las estructuras ya que cuenta con diversas alternativas y métodos de diseño estructural. Sin embargo, una mal interpretación de los resultados puede ocasionar un sobredimensionamiento de la estructura por lo que es muy importante tener los conceptos de diseño muy claros.

Como se puede observar en el diagrama de Pareto, la implementación del sistema de captación tiene una muy baja incidencia en cuanto a su costo comparado con el costo total del proyecto. Po lo cual, teniendo en cuenta que se generaran ahorros por consumo de agua potable es una propuesta que termina siendo viable en municipios donde las condiciones climáticas sean favorables.

Referencias

- [1] A. Llopart-Mascaró *et al.*, “Caracterización analítica de las aguas pluviales y gestión de las aguas de tormenta en los sistemas de saneamiento,” Barcelona, España, 2015.
- [2] M. Fernandez, “Las Instituciones Medioambientales Globales ante la Cumbre de Rio+10,” *Ecosistemas*, 2003.
- [3] J. Hernández, J. Bayón, D. Fresno, M. Perez, J. Jordana, and F. Muñoz, “Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de La Guía,” Gijón, 2006.
- [4] NATALIA PALACIO CASTAÑEDA, “Propuesta Sistema Aprovechamiento Agua Lluvia,” *Univ. Antioquia*, vol. 9, no. 1, pp. 76–99, 2010.
- [5] FAO, “Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua Lluvia Experiencias en America Latina,” Santiago de Chile, Chile., 2000.
- [6] L. Duarte and J. Echeverry, “Estudio para la Reutilización de las Aguas Lluvias en el Campues de la Pontificia Universidad Javeriana,” Universidad Javeriana, 2004.
- [7] B. Helmreich and H. Horn, “Opportunities in Rainwater Harvesting,” *Elsevier*, vol. 248, no. 1–3, pp. 118–124, 2009.
- [8] P. Coombes, J. Argue, and G. Kuczera, “Figtree Place: a case study in water sensitive urban development,” 2000, pp. 335–343.
- [9] C. Booth, R. Attwater, C. Derry, and B. Simmons, “The Hawkesbury Water Reuse Scheme,” *Water, Australia*, pp. 42–44, 2008.
- [10] IDEAM, “Cifras de los datos pluviometricos de Bucaramanga, Colombia,” Bucaramanga, 2019.
- [11] Reyes *et al.*, “Recoleccion-aguas,” 2014.

- [12] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, “Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos,” *Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.*, p. 48, 2018.
- [13] J. L. Estupiñán Perdonó and H. O. Zapata García, “Requerimientos De Infraestructura Para El Aprovechamiento Sostenible Del Agua Lluvia En El Campus De La Pontificia Universidad Javeriana, Sede Bogotá,” 2010.
- [14] M. V. De la Ossa and M. J. Gonzalez Campo, “METODOLOGÍA PARA ESTIMAR HIDROGRAMAS DE CRECIENTES A PARTIR DE MODELOS LLUVIA-ESCORRENTÍA EMPLEANDO HYFRAN Y HEC-HMS. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL ARROYO MATUTE, LOCALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR (COLOMBIA),” *Phys. Rev. E*, p. 24, 2011.
- [15] C. C. Eduard Alexander, “Curvas IDF, Hietogramas de Diseño de Obras de Infraestructura e Impacto Económico del Periodo de Retorno,” 2009.
- [16] B. Fernandez and P. Rivera, “Análisis experimental de la modelación hidrológica de cuencas urbanas.,” in *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica Cordoba*, 2000.
- [17] P. Castañeda, “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa de ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia.,” Universidad de Antioquia, 2010.
- [18] M. y E. A. Instituto de Hidrología, *Resolución 2115/2007*. Colombia, 2019.
- [19] E. E. N. Am and R. Latina, “Manual De Captación Y Aprovechamiento,” 2000.
- [20] ICONTEC, *NTC 1500 - Código de Colombiano de fontanería*. Colombia, 2003, p. 85.
- [21] G. Pumps, “Manual de instalación , funcionamiento y mantenimiento,” no. Iso 13709. pp. 1–106, 2018.

- [22] K. Novak, C., DeBusk, “Designing Rainwater Harvesting Systems,” UNITED STATES, 2014.
- [23] V. Avila Suarez and P. A. Avila Suarez, “Implementación y Evaluación Técnica de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia,” Pontificia Bolivariana, 2018.
- [24] S. A. Haq, *Harvestin Rainwater from Buildings*. Cham, Switwerland.: Springer Nature, 2016.
- [25] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, *Resolución 0330 de 2017*. Colombia, 2017, p. 182.
- [26] DNP, “Construcción Y Dotación,” Bogota, 2015.
- [27] C. A. Rivas Ruza, “Universidad Nacional De,” Universidad de Cordoba, 2014.
- [28] Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Titulo A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente,” *Nsr-10*, vol. Titulo A. Colombia, pp. 1–174, 2010.
- [29] ITEA, “Sistemas estructurales,” 2015.
- [30] Y. Choulli, “Estado de conocimiento de las cubiertas metalicas,” Escuela Tecnica Superior de Ingenieria de Caminos, 2003.
- [31] A. Hayes, “Proyecto y construcción de galpones modulares,” vol. 14, pp. 37–45, 2018.
- [32] Á. Picazo, “Medios De Unión De Estructuras Metálicas,” *Arquit. Técnica - Univ. Politécnica Madrid*, vol. 1, no. 1, p. 14, 2007.
- [33] Asociación Latinoamericana del Acero, “Especificación para Construcciones de Acero,” *Am. Inst. Steel Constr.*, pp. 3–308, 2016.
- [34] G. Chávez Alcívar, “Elaboración de base de datos y análisis metodológico, por etapas, de proyectos de vivienda de carácter social en la ciudad de Quito a partir de proyectos

- ejecutados por la Empresa Pública Metropolitana de Hábitat y Vivienda.,” 2015.
- [35] L. Botero, *Construcción de Edificaciones Aspectos Administrativos*, 1 edición. Colombia, 2008.
- [36] C. Del Rio, *Manual de Costos, Presupuesto y Adquisiciones y Abastecimientos*, 1 edición. México, 2012.
- [37] M. K. R. Villalobos Chávez, “Elaboración de un modelo de presupuesto y propuesta de control para alcanzar la utilidad objetiva de la constructora Arquive SAC Chiclayo 2014,” Universidad Catolica Santo Toribio de Mogrovejo, 2016.
- [38] I. Steve and V. Herrera, “El Modelo del Análisis de Precios Unitarios Industrial adaptado a un Proyecto de Desarrollo de Software para un Producto de Informática,” vol. 4, 2007.
- [39] E. Dávila, “Análisis de Pareto en la Construcción,” *Gest. la Construcción, Geotec. y Transp.*, 2016.
- [40] AIS, “Titulo F - Nsr10,” *Reglam. Colomb. Construcción Sismo Resist.*, p. F-119-125, 2010.
- [41] A. C. de I. S. AIS and Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, *Titulo B - Cargas*. Colombia, 2010, pp. 530–827.
- [42] J. Suarez Santos, “Evaluación con Criterios de Sostenibilidad de un Prototipo de Sistema de Suministro de Agua y Energía Enfocado a Vivienda de Bajo Costo,” Universidad Pontificia Bolivariana, 2017.
- [43] vivienda y D. T. Ministerio de Ambiente, *TÍTULO J Alternativas tecnológicas en Agua y Saneamiento para el sector Rural*. Colombia, 2010.
- [44] J. Granados Robayo, *Redes Hidráulicas y Sanitarias en Edificios*. Bogota, Colombia: UNIBIBLIOS, 2002.
- [45] R. Perez Carmona, *INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, DE GAS Y DE*

APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN EDIFICACIONES, Octava Edi. Bogota, Colombia, 2019.

.