



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño y construcción de una torre de monitoreo y captación de agua de la niebla de
caña guadua**

Bedón Perugachi, Erika Jazmín

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD

Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.

17 de septiembre del 2021



Urkund Analysis Result

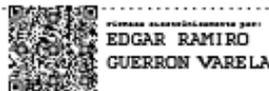
Analysed Document: TESIS Bedon.pdf (D112249860)
 Submitted: 9/8/2021 7:17:00 PM
 Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
 Significance: 6 %

Firma: **DAVID VINICIO
 CARRERA
 VILLACRES** Firmado digitalmente
 por DAVID VINICIO
 CARRERA VILLACRES
 Fecha: 2021.09.10
 12:05:25 -05'00'

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

C. C: 1712218518

Firma:



Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.

C. C: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Diseño y construcción de una torre de monitoreo y captación de agua de la niebla de caña guadua" fue realizado por la señorita Bedón Perugachi Erika Jazmín el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma:

DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES

Firmado digitalmente
por DAVID VINICIO
CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.09.10
12:04:59 -05'00'

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

C. C: 1712218518

Firma:



Firmado digitalmente por
EDGAR RAMIRO
GUERRON VARELA

Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro ~~Mgs.~~

C. C: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Bedón Perugachi, Erika Jazmín**, con cédula de ciudadanía N°1003119706, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una torre de monitoreo y captación de agua de la niebla de caña guadua”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

Bedón Perugachi Erika Jazmín

C.C.: 1003119706



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Bedón Perugachi Erika Jazmín**, con cédula de ciudadanía N°1003119706, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**Diseño y construcción de una torre de monitoreo y captación de agua de la niebla de caña guadua**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

A handwritten signature in blue ink that reads 'Erika Bedón'. The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

Bedón Perugachi Erika Jazmín

C.C.: 1003119706

Dedicatoria

A mis queridos padres Sixto Bedón y Rocío Perugachi por haberme apoyado a lo largo de todas mis etapas formativas, por inculcarme buenos valores desde pequeña, por enseñarme a no rendirme tan fácil y superar los obstáculos que se me presenten en el camino por más difíciles que sean, a mis hermanos y toda mi familia por darme ánimo para seguir persiguiendo sueños y a aquellos amigos que me mostraron su ayuda incondicional.

Agradecimiento

Agradezco profundamente el apoyo y esfuerzo de mis padres, por brindarme su tiempo y dedicación y hacer que este sueño se haga realidad, su labor como padres es incomparable y se ve reflejado en cada una de las acciones. Por brindarme una educación de calidad y guiarme por el camino del bien. Los quiero mucho.

A mis queridos tíos Andrés Perugachi y Pablo Perugachi que gracias a su experiencia me impartieron sus amplios conocimientos y quienes fueron el aporte principal en la elaboración y culminación del proyecto.

A mi tutor, Dr. David Carrera por el conocimiento impartido, mis maestros del Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción por las enseñanzas brindadas para formar grandes profesionales y amigos de los cuales me llevo gratos recuerdos.

Tabla de Contenido

Dedicatoria	3
Agradecimiento	7
Tabla de Contenido.....	8
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas.....	11
Resumen	13
Abstract	14
Capítulo I	15
Introducción.....	15
Planteamiento del problema.....	16
Antecedentes.....	17
Historia de los atrapanieblas a nivel mundial	17
Justificación.....	22
Objetivos	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos	23
Capítulo II	24
Marco Teórico.....	24
Bambú	24
Características del bambú	24
Características de la planta	24
Zonas de producción.....	24
Ciclo productivo y vida	25
Variedades y características.....	26
El Género “Guadúa”	27
Taxonomía de la Guadúa Angustifolia.....	27
Partes de la Guadúa	28
Características de la caña guadúa	29
Guadúa en Ecuador	30
Propiedades físicas de la Guadúa.....	31
Contenido de humedad	31
Densidad	31
Propiedades mecánicas de la Guadúa.....	32
Resistencia a flexión	32
Resistencia a compresión	32
Resistencia a corte.....	33
Cultivo	33

Preparación del suelo.....	33
Siembra y propagación	33
Sanidad y manejo de plagas	34
Corte y análisis de madurez de la planta	34
Cosecha y preparación	35
Madurez y cosecha	35
Selección para corte	36
Usos	37
Preservación de la caña guadúa	38
Curado de la caña guadúa	39
Proceso de secado	42
Atrapanieblas.....	44
Localización geográfica y recurso hídrico.....	44
Definición.....	44
Historia	44
La niebla.....	45
Humedad atmosférica	45
Temperatura atmosférica	46
Lluvia horizontal	46
Orografía	46
Viento	47
Humedad absoluta y relativa	47
Diseño y eficiencia de los atrapanieblas.....	47
Componentes de los atrapanieblas	47
Eficiencia de recolección.....	47
Malla para atrapanieblas	48
Diseños de atrapanieblas.....	49
Atrapaniebla tridimensional	49
Atrapaniebla bidimensional	51
Construcción, operación y mantenimiento.....	52
Fabricación de piezas	52
Montaje.....	52
Operación	52
Inspección.....	53
Uso del agua	53
Antecedentes	53
Usos actuales	54
Atrapanieblas en el mundo	54
Chile.....	54

Proyectos de CONAF.....	54
Chungungo, Comuna de La Higuera.....	55
Comunidad Agrícola de Peña Blanca, Comuna de Ovalle.....	56
Producción de Cerveza “Atrapaniebla”, Peña Blanca.....	57
Santuario Padre Hurtado, Comuna de Canela.....	58
Falda Verde Comuna de Chañaral.....	59
Alto Patache en Región de Atacama.....	60
Otras zonas del mundo.....	61
Islas canarias.....	61
Lomas de Atiquipa, provincia de Arequipa, Perú.....	62
Uniones.....	62
Aspectos generales.....	62
Problemas internos.....	62
Tipos de uniones.....	63
Uniones en cimentación.....	63
Uniones con amarras.....	64
Uniones con pasadores.....	64
Uniones con centro de madera.....	66
Uniones metálicas.....	66
Uniones con pasadores o tiras de acero.....	67
Cimentaciones.....	69
Aspectos generales.....	69
Plintos Aislados.....	70
Capítulo III.....	71
Materiales y métodos.....	71
Área de estudio.....	71
Ubicación.....	71
Acceso (Referencia).....	72
Vegetación.....	72
Clima.....	72
Altitud.....	72
Temperatura.....	72
Precipitación.....	72
Viento.....	73
Materiales y Equipos.....	74
Prefactibilidad.....	74
Metodología.....	78
Capítulo IV.....	82
Resultados y discusión.....	82

Cálculos previos	82
Malla del módulo del atrapaniebla	82
Cálculo de los cimientos.....	84
Cálculo de las cañas guadúas.....	85
Cálculo del tubo cuadrado A36 125 mm x 125 mm x 3 mm espesor	85
Cálculo de platinas de cimentación 1 ½" x ¼ ".....	86
Cálculo de platinas horizontales y diagonales.....	86
Cálculo de pernos	87
Cálculo del hormigón.....	88
Resultados del Viento.....	88
Velocidad mínima del viento.....	88
Velocidad instantánea del viento	89
Velocidad corregida del viento.....	89
Presión del viento.....	89
Carga por viento en cada nudo	90
Carga muerta en cada nudo por el peso de la malla húmeda.....	90
Carga viva en cada nudo por el peso de una persona	90
Software utilizado	90
Proceso constructivo.....	92
Capítulo V.....	108
Conclusiones	108
Recomendaciones	109
Anexos	115
Bibliografía.....	115

Índice de Tablas

Tabla 1 Estado actual de los LFC implementados a nivel mundial (Long Fog Chamber).....	18
Tabla 2 Clasificación taxonómica.....	27
Tabla 3 Comparaciones de tipo de uniones	68
Tabla 4 Presupuesto de la torre rectangular.....	105

Índice de Figuras

Figura 1 Categorías de técnicas de recolección de agua atmosférica	16
Figura 2 Zonas de producción a nivel mundial	25
Figura 3 Partes del bambú	29
Figura 4 Plantación de guadua angustifolia	30
Figura 5 Siembra del bambú	34
Figura 6 Ciclo del bambú.....	35
Figura 7 Cosecha del bambú.....	36
Figura 8 Corte del bambú.....	37

Figura 9 Productos elaborados a base del bambú	38
Figura 10 Preservación por inmersión al agua	39
Figura 11 Preservación por inmersión al agua	40
Figura 12 Preservación mediante humo	41
Figura 13 Perforación con varillas de 10/12 mm	42
Figura 14 Secado al calor.....	42
Figura 15 Secado al aire	43
Figura 16 Secado al aire	44
Figura 17 Torre rectangular Ilaló.....	49
Figura 18 Torre circular modelo Warka Water.....	50
Figura 19 Modelo bidimensional	51
Figura 20 Sistema de atrapaniebla en Chungungo	56
Figura 21 Atrapaniebla en Peña Blanca.....	57
Figura 22 Cerveza artesanal Atrapaniebla	58
Figura 23 Santuario del Padre Hurtado.....	59
Figura 24 Flada Verde - Atrapaniebla Atacama	59
Figura 25 Atrapaniebla Atacama	61
Figura 26 Anclaje de columnas con varillas de refuerzo.....	63
Figura 27 Uniones en estructura de caña	64
Figura 28 Uniones con pasador	65
Figura 29 Uniones con pasador	65
Figura 30 Uniones con centro de madera	66
Figura 31 Uniones metálicas	67
Figura 32 Uniones con pasadores	67
Figura 33 Cimentación	69
Figura 34 Mapa de ubicación	71
Figura 35 Coeficiente de corrección	73
Figura 36 Diseño inicial de la torre atrapaniebla.....	75
Figura 37 Diseño de 2 módulos en SAP2000.....	76
Figura 38 Diseño de 3 módulos en 3D.....	77
Figura 39 Descripción del diseño de la torre atrapaniebla	78
Figura 40 Diseño final de dimensionamiento de la torre	80
Figura 41 Cálculo de la malla para el techo de la torre.....	82
Figura 42 Cálculo de la malla para las caras laterales del módulo	83
Figura 43 Cálculo del volumen del plinto.....	84
Figura 44 Cálculo del hormigón	88
Figura 45 Excavación del suelo	92
Figura 46 Colocación del tubo PVC y platinas em forma de L de 1 1/2" x 1/4".....	93
Figura 47 Mezcla de cemento, arena y ripio.....	93
Figura 48 Colocación de agua em la mezcla.....	94
Figura 49 Colocación de la mezcla em los plintos.....	94
Figura 50 Fundición de los plintos	95
Figura 51 Corte de piezas del tubo cuadrado.....	97
Figura 52 Corte de platinas de 1 1/2" x 1/8"	97
Figura 53 Taladro de banco.....	98
Figura 54 Broca de acero de 5/8"	98
Figura 55 Armado de las piezas de metal	98
Figura 56 Soldadura de las piezas de metal	99
Figura 57 Pintada de las piezas.....	99
Figura 58 Colocación de las cañas verticales	100
Figura 59 Corte de las cañas.....	100
Figura 60 Perforación de las cañas com broca 5/8"	101
Figura 61 Colocación de pernos de 1/2" x 7"	101
Figura 62 Montaje del segundo piso de la torre	102
Figura 63 Colocación de la malla rachell 50% sombra	103
Figura 64 Torre atrapaniebla	104

Resumen

El Ecuador es un país rico con grandes extensiones de cultivo de caña guadúa angustifolia y su principal uso en la construcción ha sido predominante en los últimos años, no solo por sus propiedades físicas y mecánicas sino por la larga duración que tiene este material, convirtiéndolo en uno de los mayores materiales alternativos más recomendados para la construcción. Existen muchas zonas en nuestro país que no cuentan con el servicio de agua potable generalmente en zonas rurales, razón por la cual el objetivo de este proyecto radica en generar una nueva fuente de recolección de la misma a través de la construcción de una torre rectangular atrapaniebla cuya función principal consiste en la recolección de las partículas provenientes de la neblina a partir de la humedad generada, y brindar diferentes usos como por ejemplo riego, consumo de agua potable, actividad agrícola, entre otros; e incluso el agua obtenida podría ayudar a recuperar el ecosistema puesto que es un elemento esencial para la vida. Se determinó una ubicación óptima para la construcción de la torre considerando la altitud y sobre todo la velocidad del viento y las precipitaciones en la zona de Conocoto, Pichincha con la finalidad de lograr captar un gran volumen de agua.

Palabras claves:

- **AGUA**
- **CAÑA GUADÚA**
- **PARÁMETROS AMBIENTALES**
- **UBICACIÓN ÓPTIMA**

Abstract

Ecuador is a rich country with a large area of cultivation of guadúa angustifolia cane and the principal use in the construction has been predominant in recent years, not only for its physical and mechanical properties but also for the long duration of this material, making it one of the greatest alternative materials most recommended for construction. There are many areas in our country that do not have potable water service, generally in rural areas, so for this reason the objective of this project is to generate a new source of water collection through the construction of a rectangular fog-catching tower, and the main function is to collect the particles from the mist from the humidity generated, and provide different ones such as irrigation, drinking water consumption, agricultural activity, and others; and even the water obtained could help to recover the ecosystem since it is an essential element for life. An optimal location for the construction of the tower was determined, considering the altitude and especially the wind speed and rainfall in the Conocoto, Pichincha area, in order to capture a large volume of water.

Keywords:

- **WATER**
- **GUADÚA CANE**
- **ENVIRONMENTAL PARAMETERS**
- **OPTIMAL LOCATION.**

Capítulo I

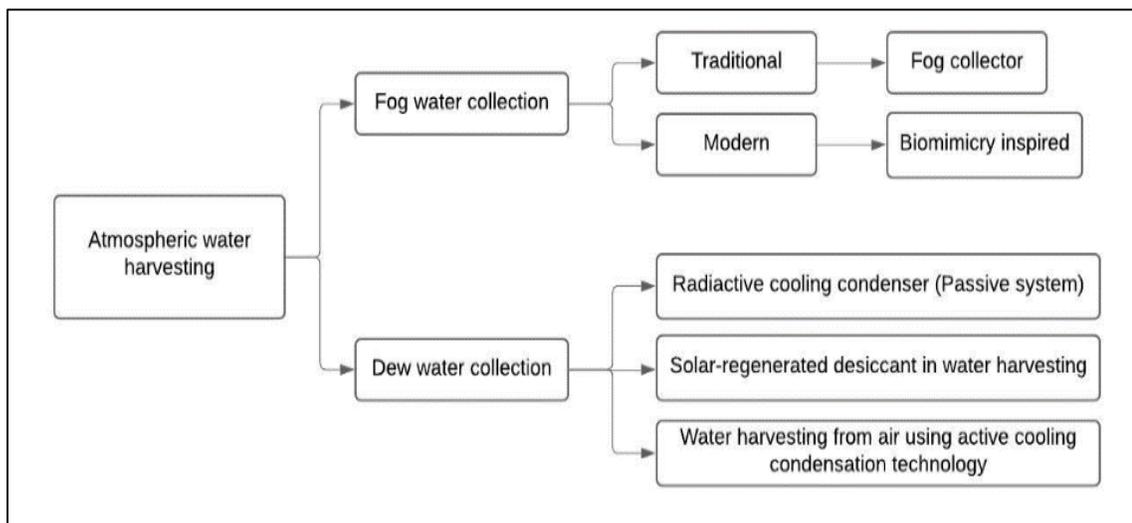
1.1. Introducción

La disponibilidad de recursos hídricos adecuados y sostenibles es uno de los factores más importantes en la mejora de los medios de vida de los hogares y el desarrollo económico. La demanda de agua está aumentando debido al crecimiento de la población, la expansión de las áreas agrícolas y el aumento de la demanda industrial (Nechifor & Winning, 2018); las fuentes de agua convencionales existentes se están agotando y contaminando por los efluentes industriales, agrícolas y domésticos, y otras actividades humanas (Baquero Palacios et al., 2018; Olivier, 2004). El problema se agrava en las regiones con escasas precipitaciones y sequías: los países en desarrollo de las regiones áridas y semiáridas son los más vulnerables y los más afectados por la escasez de agua. En tales regiones, es necesario explorar posibles recursos hídricos alternativos que sean económicamente viables y renovables (Olivier, 2004).

De acuerdo a (Jarimi et al., 2020a) a nivel mundial, se han utilizado muchos métodos para recolectar agua, como la desalinización de agua, la recolección de agua subterránea y la recolección y almacenamiento de agua de lluvia, pero para que funcionen el agua líquida ya debe estar disponible, pero cuando dichos suministros son limitados, la recolección de agua atmosférica se vuelve esencial. Existen varias tecnologías de recolección de agua atmosférica (Figura 1).

Figura 1

Categorías de técnicas de recolección del agua atmosférica.



Nota. La imagen muestra varias de las categorías existentes de la recolección del agua a nivel mundial. Adaptado por (Jarimi et al., 2020b)

1.2. Planteamiento del problema

El colector de niebla se compone de tres partes principales: el marco, la red de malla y el canal o cuenca. El marco soporta la red de malla y puede estar hecho de una amplia gama de materiales, desde postes de acero inoxidable hasta bambú (Dos Anjos, 1998). En Ecuador, está altamente extendido el uso para la construcción de una Poaceae cercana al Bambú: la caña guadua, *Guadua angustifolia* (Burgos et al., 1997). *G. angustifolia* no solo exhibe propiedades físicas y mecánicas adecuadas para fines estructurales, sino que también tiene una tasa de crecimiento rápido ya que su madurez se alcanza entre los 3 y 4 años de edad (*INFLUENCE OF AGE AND HEIGHT POSITION ON COLOMBIAN GUADUA ANGUSTIFOLIA BAMBOO MECHANICAL PROPERTIES*, n.d.). Investigaciones preliminares muestran que los productos de *Guadua* laminada poseen excelentes propiedades mecánicas en comparación con las mejores maderas estructurales (Barreto Castillo, 2003; Duran, 2003; Lopez & Correal, 2009), haciendo de

la guadua laminada un material alternativo prometedor a la madera aserrada u otros productos de madera (Correal et al., 2014).

1.3. Antecedentes

1.3.1. Historia de los atrapanieblas a nivel mundial

Se han documentado varios métodos de recolección de agua de rocío y niebla que se practicaban principalmente en áreas áridas y semiáridas. Estos métodos incluyeron tanto la utilización directa de agua de niebla que goteaba debajo de los árboles como la construcción de estructuras artificiales en forma de montículo para interceptar la niebla y el rocío (Fessehayé et al., 2014). El agua de niebla que es interceptada naturalmente por las hojas de los árboles se ha utilizado como fuente de agua potable durante muchos años en diferentes áreas. Por ejemplo, los habitantes de las Islas Canarias durante siglos utilizaron árboles “fuente” (laureles, enebros, pinos) como única fuente de agua potable para humanos y animales (Gioda et al., 1993). Además, los habitantes de las montañas de Omán construyeron cisternas debajo de los árboles para recolectar agua de niebla para uso doméstico (Schemenauer & Cereceda, 1994b).

En otras áreas, los esfuerzos de recolección de agua de niebla se incrementaron con estructuras artificiales. Se encontraron restos de estructuras artificiales utilizadas para recolectar niebla y rocío en áreas desérticas de la región mediterránea y América del Sur (Dower, 2002).

El interés científico por estudiar y medir la niebla como recurso natural comenzó en Sudáfrica (montaña de la mesa) a principios del siglo XX, en especial por propósitos agrícolas (Lightfoot, 1996). Durante este período, los científicos intentaron medir el volumen de agua de niebla interceptada por la vegetación utilizando dos pluviómetros. Los dos pluviómetros se configuraron de manera diferente: uno se dejó al aire libre como un pluviómetro normal, mientras que se suspendieron cañas sobre el segundo. Este

método se convirtió en una práctica estándar para medir la precipitación de niebla antes de la introducción del SFC (Schemenauer & Cereceda, 1994a). En 1969, se implementó el proyecto pionero de recolección de niebla en Sudáfrica. El objetivo principal era proporcionar un suministro de agua temporal para el personal de la Fuerza Aérea que operaba en el área de Mpumalanga. El colector de niebla constaba de dos grandes pantallas de plástico antiniebla (cada una de 28 m de largo por 3,6 m de alto) montadas perpendicularmente al viento predominante. Se recogió un promedio de 31 m³ de agua por mes entre el período de octubre de 1969 y diciembre de 1970 (Olivier, 2002).

En 1987, investigadores de la Universidad Católica Nacional de Chile y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá implementaron el segundo proyecto operativo de recolección de agua de niebla en el pequeño pueblo pesquero de Chungungo, en el norte de Chile (Schemenauer et al., 1988). Un total de 100 colectores de niebla (cada uno de 12 m de largo por 4 m de alto) se erigieron en una colina que dominaba el pueblo. Según los informes, las tasas de producción variaron desde cero en días despejados hasta un máximo de 20 L m⁻² día⁻¹. Con este arreglo, cada uno de los 300 aldeanos recibió alrededor de 331 litros de agua limpia por persona por día (Larrain et al., 2002; Schemenauer & Cereceda, 1994b). Como resultado de estos éxitos, se han iniciado e implementado proyectos similares de recolección de niebla en muchas partes del mundo (Tabla1).

Tabla 1

Estado actual de los LFC implementados a nivel mundial (Long Fog Chamber)

Localidad (País)	Proyecto	Año	Descripción	Referencia
El Tofo (Chile)	100 LFCs	1987-2002	Suministro de agua comunitario. La política local impidió mejorar el apoyo al sistema de suministro de agua convencional (no operantes).	(Larrain et al., 2002; Schemenauer & Cereceda, 1991)
Pachamama Grande (Ecuador)	40 LFCs	1995-1997	Suministro de agua comunitario. No operantes por faltas de habilidades técnicas y participación de socios locales	(Henderson & Falk, 2001)
Mejía (Perú)	20 LFCs	1995-1999	Investigación sobre rehabilitación del ecosistema de lomas por agua de niebla (proyecto completado).	(FogQuest, 2009)
Alto Patache (Chile)	2 LFCs	1997-2010	Investigación de ecosistemas y clima. Además, el agua de niebla recolectada se utiliza para cultivos de invernadero. (Aun operacionales).	(Calderón et al., 2010; Larrain et al., 2002)
Lepelfontein (Sudáfrica)	1 LFCs	1999-2001	Suministro de agua para la escuela. No operacional por el mantenimiento deficiente y los vientos de fuerza fuerte condujeron a un fallo de el sistema	(Olivier, 2004; Olivier & De Rautenbach, 2002; Van Heerden et al., 2010)
Padre Hurtado (Chile)	10 LFCs	1999-2004	Suministro de agua comunitario. La iglesia canceló los nombramientos	(FogQuest, 2009)

			de personal y el funcionamiento del santuario (no operacionales).	
Tenerife (Islas Canarias)	4 LFCs	2000-2010	Investigación de las características de la niebla y su interacción con la vegetación (aun operacionales).	(Marzol et al., 2010)
Falda Verde (Chile)	10 LFCs	2001-2010	Fuerte participación y compromiso de los pescadores para criar Aloe Vera. (Aun operacionales).	(Larrain et al., 2002)
Soutpansberg (Sudáfrica)	7 LFCs	2001-2008	Suministro de agua para la escuela. No operacional por falta de recipientes de mantenimiento necesarios y viento fuerte	(Olivier, 2002, 2004; Olivier & Van Heerden, 2002)
Templo Pathivara (Nepal)	2 LFCs	2001-2010	Suministro de agua para el templo (aun operacionales).	(MacQuarrie et al., 2001)
Hajja (Yemen)	25 LFCs	2003-2005	Suministro de agua para la escuela. No operacional por falta de mantenimiento; use malla no estándar y viento fuerte	(Schemenauer et al., 2004)
Nefasit (Eritrea)	10 LFCs	2005-2009	Suministro de agua comunitario. No operacionales por daños en la malla, compromiso insuficiente, la escuela y la comunidad aumentaron desde que se instaló el	(Fessehaye et al., 2014)

nuevo suministro de agua convencional				
Arborobu (Eritrea)	10 LFCs	2005- 2010	Suministro de agua comunitario. Fuerte voluntad de la Administración de la zona para establecer un modelo operativo (aun operacionales).	(Fessehayé et al., 2014)
Tojquia (Guatemala)	35 LFCs	2006- 2010	Suministro de agua comunitario (aun operacionales).	(Rosato et al., 2010; Schemenauer et al., 2007)
Valencia (España)	1 LFCs	2007- 2010	Irrigar 620 plántulas de un año de Pinus pinaster y Quercus ilex (proyecto completado).	(Estrela et al., 2008, 2009)
Cordillera de los Andes (Colombia)	1 LFCs	2008- 2010	Abastecimiento de agua rural, educación ambiental (aun operacional).	(Escobar et al., 2010)
Lima (Perú)	60 redes de neblina	2016	Suministrar agua gratis a 250 hogares. El agua no es potable y se utiliza para sustentar la agricultura a pequeña escala, lavar la ropa y lavar los utensilios domésticos de las familias pobres.	(NaturPhilosophie, 2016)

1.4. Justificación

La recolección de agua de niebla es una tecnología simple y sostenible para obtener agua dulce para reforestación, jardinería, restauración de áreas degradadas en condiciones áridas y como fuente de agua potable para consumo humano y animal (Domen et al., 2014; Estrela et al., 2009; Klemm et al., 2012).

El gran potencial para la recolección de agua de niebla en ciertas ubicaciones de montaña ha llevado a los científicos a considerar a esta agua fácilmente disponible como un recurso para la reforestación de áreas remotas donde se ha producido la degradación de la tierra después de una larga historia de incendios forestales. En algunas áreas, la vegetación forestal nativa no se puede recuperar por sí sola y se necesita alguna intervención humana (Estrela et al., 2009). Además, los atrapanieblas se presentan como una alternativa económica (cada LFC tiene un costo promedio de \$400) y viable (Schemenauer & Cereceda, 2011) para la captación de agua a partir de la humedad ambiental.

Ecuador tiene algunas áreas con problemas similares, y de hecho presenta una de las tasas de deforestación más altas de América del Sur (Carrera & Carrera, 2020); siendo necesario la implementación de metodologías como la propuesta en este trabajo.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

Diseñar y construir una torre atrapaniebla desarmable para implementarse como mecanismo de recolección de agua para diversos propósitos, por medio de la utilización de un material de construcción alternativo: caña guadua.

1.5.2. Objetivos específicos

- Desarrollar el diseño estructural de una torre atrapaniebla cuadrada; priorizando la característica de ser desmontable y la utilización de la caña guadúa como material de construcción aplicando la normativa vigente NEC Estructuras de Guadúa (GAK) 2016.
- Construir una torre atrapaniebla desmontable de caña guadua en Conocoto (sitio de prueba); utilizando los planos y el diseño elaborados, considerando el ensamble de uniones con placa metálica y pernos cumpliendo la normativa vigente antes mencionada

Capítulo II

Marco Teórico

Bambú

2.1. Características del bambú

2.1.1. *Características de la planta*

El bambú es un pasto gigante perteneciente a la familia Poáceas o gramíneas y subfamilia Bambusoideae. Son plantas que crecen usualmente en tres zonas específicas que son: Asia-Pacífico, América y África; es decir en lugares de clima cálido, bosques tropicales lluviosos o, en el caso de los bambúes herbáceos, en la sombra de los bosques cálidos y algunas veces en la sombra de la vegetación baja. Generalmente este tipo de planta dependen de algunos factores primordiales como son la humedad, la sombra y una temperatura cálida. Hasta el momento se han identificado 1707 especies de bambúes. (Álvarez Castilla, 2012);

Posee un tallo el cual es conocido generalmente con el nombre de “culmo” el mismo que está dividido en anillos o nodos que crecen verticalmente y partes huecas que crecen en grupos ramificados que surgen de un tallo subterráneo denominado rizoma. De los nodos de culmos nacen las hojas y las ramas.

Algunas de las características más comunes es que este tipo de material es liviano, resistente, de rápido crecimiento, posee un color claro, posee bastante resistencia a la humedad, estabilidad y de fácil acceso. Todas estas características hacen de él un material con multitud de usos y posibilidades. (Samuel & García, 2015)

2.1.2. *Zonas de producción*

Los bambúes se encuentran presentes de manera natural en todos los continentes a excepción de Europa, según varios estudios se ha determinado que los países asiáticos

reportan un total de 24 millones de hectáreas de bosques de bambú, por otro lado, África reporta un total de 2,7 millones de hectáreas. No existen estadísticas precisas sobre las áreas cubiertas en países Latinoamericanos (Figura 2), pero si se conoce que solo en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela hay un pequeño porcentaje de bosques de bambú. (Zea Dávila, 2013a)

En nuestro país Ecuador se han identificado 47 especies de bambú nativos, de las cuales 11 son endémicas que crecen principalmente en manchas naturales a orillas de los ríos asociados con otras especies y plantaciones comerciales principalmente de las especies *Guadúa Angustifolia* y de las especies introducidas. (Zea Dávila, 2013b)

Figura 2

Zonas de producción a nivel mundial



Nota. Adaptado por (Mauricio & Castillo, 2003)

2.1.3. *Ciclo productivo y vida*

Las plantas de bambú crecen en ciclos anuales y generalmente estos no cambian, por lo tanto, cada planta de bambú experimentará el mismo patrón de crecimiento cada

año. A continuación, se detallará cada una de las fases pertenecientes al ciclo de vida. (Samuel & García, 2015)

FloreCIMIENTO: es la primera etapa de crecimiento del bambú en donde las cañas comienzan un intenso periodo de crecimiento que dura entre 30 y 45 días alcanzando aproximadamente una altura completa de 6 pies (182,88 cm).

Explosión: una vez que los tallos hayan alcanzado su altura total, las hojas comenzarán a brotar y crecerán generalmente entre 1 y 3 pulgadas respectivamente.

Hojeada: se conoce hojeada a la caída de hojas, debido a medida que las ramas y las hojas comienzan a esparcirse, la planta de bambú comenzará a ponerse gruesa alrededor de la parte superior.

Derramamiento de hojas: las hojas y las ramas comenzarán a caer del tallo de bambú, es un proceso normal que lleva a cabo esta planta hasta el siguiente brote y el proceso comience nuevamente.

2.1.4. Variedades y características

Los bambúes se encuentran en los cinco continentes que son 65% son originarios de Asia Sur-Oriental, un 32% crecen en América Latina y los restantes en África y Oceanía. Aproximadamente a nivel de cada continente encontramos que Asia posee 900 especies con 40 a 50 géneros, América Central y Sur 440 especies y 20 géneros, África 40 especies con 13 géneros. Por otro lado, dentro de las especies encontradas en el Ecuador tenemos distribuidas en 5 géneros:

- *Arthrostyidium* con 3 especies
- *Aulonemia* con 5 especies
- *Chusquea* con 31 especies
- *Guadua* con 42 especies
- *Rhipidocladum* con 3 especies

2.1.5. El Género “Guadúa”

La caña guadúa es un bambú leñoso perteneciente a la familia Poaceae Bambusoideae, fue identificada en el año 1806 por los botánicos Alexander Von Humboldt y Amadeo Bonpland como Bambusa Guadúa, posteriormente en el año de 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth identifica el género guadúa haciendo uso del vocablo indígena “guadúa” con el que se identifican varias comunidades indígenas de Ecuador y Colombia. (Zea Dávila, 2013a)

La distribución territorial del género guadúa va desde las zonas tropicales de México hasta el sur de Argentina, exceptuando Chile, la guadúa crece en todos los países de Iberoamérica y en buen parte de los países asiáticos. (Zea Dávila, 2013a)

2.1.6. Taxonomía de la Guadúa Angustifolia

La Guadúa Angustifolia es endémica de América y se considera como nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador, existen dos variedades que son: Guadúa Angustifolia bicolor y nigra; la bicolor se caracteriza por presentar el culmo verde con rayas amarillas mientras que la nigra tiene el culmo verde con manchas negras. (Zea Dávila, 2013a)

Tabla 2

Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Monocotiledónea
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Bambusoideae

Género	Guadúa
Especie	Angustifolia

Nota. La presente tabla muestra la clasificación taxonómica correspondiente a la caña guadúa.
Adaptado por (López & Correal, 2009)

2.1.7. Partes de la Guadúa

Las raíces: El sistema radicular está formado por raíces, raicillas y por los rizomas, los mismos que corresponden a modificaciones del tallo, con la diferencia de que este crece hacia fuera y los rizomas son subterráneos.

Tallo o culmo: también llamado "cogollo" o "espolón", al emerger del suelo lo hace con un tallo definitivo y suele alcanzar una altura entre 15 y 25 metros. Es leñoso, recto ligeramente arqueado en la punta, y está formado por muchos nudos y entrenudos llamados "canutos"

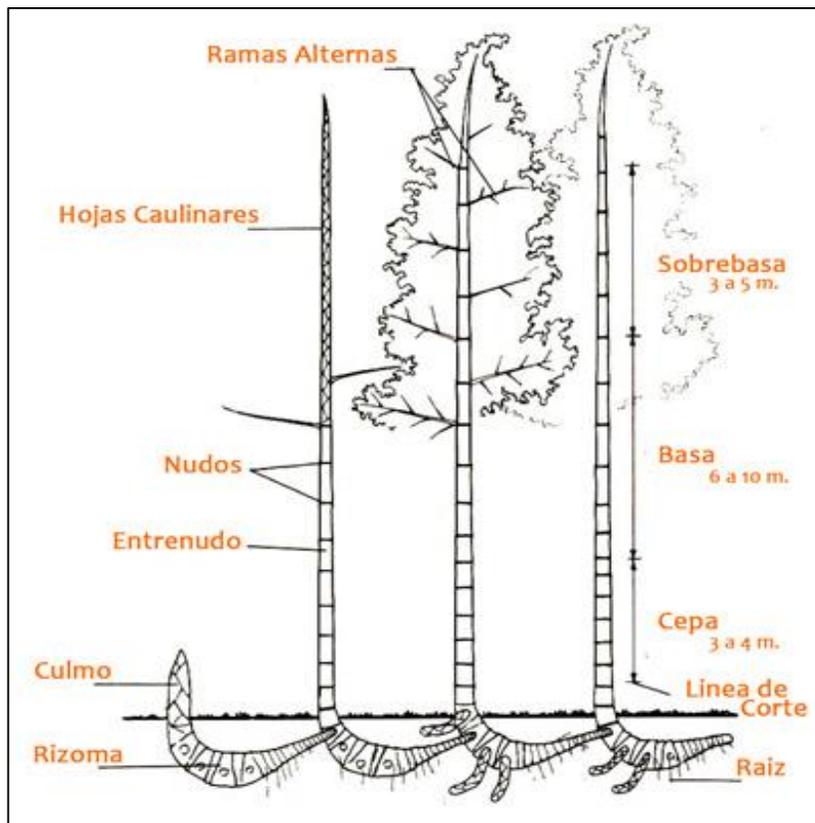
Hojas caulinares: Son de color café claro las cuales se encargan de proteger al tallo y sus yemas durante su crecimiento inicial los primeros meses. Las hojas caulinares se desprenden del culmo, cuando salen las ramas que brotan de las yemas.

Hojas de follaje: Las hojas del follaje ubicadas en las ramas, son lanceoladas, alternas y simples. Su longitud varía entre 8 y 20 cm y su ancho está entre 1,5 y 3,5 cm. Por el revés presenta pubescencias (pelillos) blanquecinos esparcidos.

Flores: Las flores están dispuestas en grupos, en los extremos de las ramas, son escasas y nada vistosas.

Semillas: Las flores, generan espigas que luego se convierten en semillas que se asemejan a granos de arroz, por su forma, tamaño y cubierta.

Yemas: están presentes en el tallo o culmo, en las ramas y en los rizomas o en las raíces que favorecen la reproducción y propagación vegetativa. (Figura 3)

Figura 3*Partes del bambú*

Nota. La imagen muestra las partes y sus dimensiones respectiva de la caña guadúa. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

2.1.8. Características de la caña guadúa

Esta especie de bambú se caracteriza por presentar culmos de hábito erecto con tendencia a arquearse en el ápice de entre generalmente 15 y 30 metros de altura, con diámetros aproximados de 9 y 22 centímetros. Los culmos presentan ramas con espinas especialmente entre los entrenudos basales siendo esta la característica fundamental de la guadúa. A su vez se observa que la rama general o dominante posee de 1 a 3 ramas secundarias. (Mauricio & Castillo, 2003)

Esta especie (Figura 4) se localiza generalmente en bosques húmedos subtropicales, situándose en las laderas y riberas de los ríos. Tiene un desarrollo favorable en zonas con temperaturas entre los 20 y 26 grados centígrados y requiere precipitaciones entre 1300 a 4000 mm con buena distribución a lo largo del año. Otro de los factores importantes a considerar es que necesita aproximadamente de 5 a 6 horas/ luz por día. (Zea Dávila, 2013a)

Figura 4

Plantación de guadúa angustifolia



Nota. La imagen muestra un cultivo de caña. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

2.1.9. Guadúa en Ecuador

La caña guadúa en su mayoría crece en todas las provincias de la Costa y algunas en la Sierra. Sin embargo, en la provincia del Guayas la caña guadúa es un insumo primordial para las construcciones de casas para familias de escasos recursos. Según varios estudios se ha determinado que en el Ecuador existe aproximadamente 4270 hectáreas correspondientes a la plantación de caña guadúa. (Samuel & García, 2015)

En el Ecuador existen alrededor de 46 especies de bambú que crecen desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m de las cuales las variedades de guadúa y bambú gigante son las más fuertes en construcción. Cerca de 30 mil hectáreas de guadúa en el país ofrecen varios beneficios ambientales como por ejemplo cada hectárea atrapa alrededor de 12 toneladas de CO₂ al año, es decir este material es considerado como una bomba de agua pues se encarga de absorber el líquido durante el invierno y en verano lo sueltan para mantener la humedad del suelo y fortalecen los suelos evitando la erosión. (Samuel & García, 2015)

2.2. Propiedades físicas de la Guadúa

2.2.1. Contenido de humedad

Es una propiedad física indispensable de analizar, pues la humedad del tallo de la Guadua disminuye con la altura y con la edad. La humedad varía dependiendo de las épocas del año, si hay lluvia la humedad es mayor y si hay sequia la humedad es menor. La contracción del diámetro puede ser del 5 hasta el 15%, cuando se disminuye la humedad del tronco del 70% hasta el 20%. (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012)

El contenido de humedad se calcula de la siguiente manera:

$$C.H = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Donde:

m = masa de la probeta antes del secado

m₀ = masa de la probeta después del secado

2.2.2. Densidad

Se define densidad como la cantidad de masa de una unidad de volumen. La densidad del culmo es medida en función de las sustancias sólidas. Existe una relación

constante entre la masa y el volumen para la determinación de la densidad de las sustancias puras. (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012)

La densidad se calcula de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

$$m = \text{masa}$$

$$v = \text{volumen}$$

2.3. Propiedades mecánicas de la Guadúa

2.3.1. Resistencia a flexión

Esta prueba se realiza con un método el cual se encarga de asegurar la flexión de un tronco de guadua aplicando una carga media entre los centros de soporte de la carga. A la carga se la divide en la mitad, para evitar la ruptura del tronco de guadua en los puntos de aplicación de la carga y en las reacciones en los apoyos deben ser aplicadas en los nudos. (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012)

2.3.2. Resistencia a compresión

La guadua posee membranas intermedias muy fibrosas, lo que hace que tenga una gran capacidad de resistencia a la compresión y mucha flexibilidad. Es por esta razón que la estructura interna de las fibras está constituida por tejidos que soportan el esfuerzo mecánico al que se encuentra sometido el tallo debido al peso propio del material. (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012)

La resistencia a compresión se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult.}}{A}$$

Donde:

$$F_{ult} = \text{fuerza donde se presenta la falla}$$

$A = \text{área de la probeta}$

2.3.3. Resistencia a corte

Es generado por acción de fuerzas directas que tratan de cortar el material, es decir la distribución de esfuerzos cortantes sobre una sección, es mayor en el centro del elemento y se hace nula en los extremos. (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012)

La resistencia a corte se calcula de la siguiente manera:

$$t_{ult} = \frac{F_{ult.}}{A}$$

Donde:

$F_{ult} = \text{fuerza máxima de corte}$

$A = \text{área de corte}$

2.4. Cultivo

2.4.1. Preparación del suelo

En primer lugar, lo recomendable es eliminar la maleza dentro del lote a reforestar, a su vez esta labor se puede realizar de forma manual o mecánica dependiendo del número de hectáreas a plantar. Además, se recomienda hacerlo de forma mecánica para mejorar la estructura del suelo y aumentar la capacidad de retención de agua lo cual ayudará al buen crecimiento de las raíces del bambú. A su vez es muy importante determinar la cantidad de nutrientes del suelo mediante un análisis del mismo. (Daniela Cadena, 2018)

2.4.2. Siembra y propagación

Dentro de este proceso de siembra (Figura 5) es recomendable hacerlo en época lluviosa pues se lo debe realizar en los primeros 2 meses, adicional a esto se realiza el hoyado de aproximadamente 40 x 40 cm.

2.4.3. Sanidad y manejo de plagas

Uno de los mayores problemas en las plantaciones de caña guadúa es el ataque de hormigas en sus tallos por tal motivo se recomienda identificar y eliminar los hormigueros antes de sembrar. También otros insectos que atacan y perforan esta planta son los escarabajos, por esta razón lo más recomendable es cortar y quemar caña con perforaciones para evitar la propagación de insectos. (Daniela Cadena, 2018)

2.4.4. Corte y análisis de madurez de la planta

Lo óptimo es utilizar cañas maduras que no tengan menos de 4 años de edad, sin embargo, existen algunas características exteriores de la guadúa. Dentro de los principales estados de madurez de la planta se tiene en primer lugar el “nuevo brote”, posterior a ello “brote en crecimiento”, seguido de “caña tierna”, “caña hecha” y “caña seca”. (Daniela Cadena, 2018)

Figura 5

Siembra del bambú



Nota. La imagen muestra el proceso de siembra correcto de esta planta. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

2.5. Cosecha y preparación

2.5.1. Madurez y cosecha

Al momento de cosechar la caña guadúa, se recomienda hacerlo cuando la luna está en menguante (Figura 6), es decir, a los dos o tres días de que la luna haya estado llena. Gracias a ello se logrará que la caña dure más tiempo sin afección de hongos, la caña tendrá mayor dureza y rigidez debido a que la savia tiende a estar en la zona más baja de la caña y de esta manera el bambú va a tener menos agua. (Samuel & García, 2015)

Otra característica fundamental para la cosecha es que la caña tenga por lo menos tres años de edad (Figura 7), puesto que cuando supera los 6 años de edad la caña va perdiendo resistencia volviéndose más vieja y muy difícil de cosechar.

Un buen momento para cosecharla es durante el periodo de los 3 a 6 años de edad. Pasados los 6 años, la caña de bambú se va haciendo vieja y va perdiendo fuerza por lo que no suele ser muy habitual cosecharla. (Samuel & García, 2015)

Figura 6

Ciclo del bambú



Nota. Esta imagen representa el ciclo luna para sus respectivos procesos. Adoptado de Manual del Bambú, (Samuel & García, 2015)

Figura 7

Cosecha del bambú



Nota. Esta imagen representa la recolección del bambú. Adoptado de Manual del Bambú, (Samuel & García, 2015)

2.5.2. Selección para corte

Es primordial cortar por encima del primer nudo del tallo, a nivel del suelo (Figura 8); se recomienda hacerlo anualmente después de los tres a cinco años de plantados debido a que es cuando el bambú empieza a madurar y es fácil de reconocer pues empieza a perder el brillo del tallo y posee una coloración baja. (Ramón Mercedes, 2006)

Por esa razón, con la finalidad de tener un mejor rendimiento de la caña se debe considerar los siguientes factores:

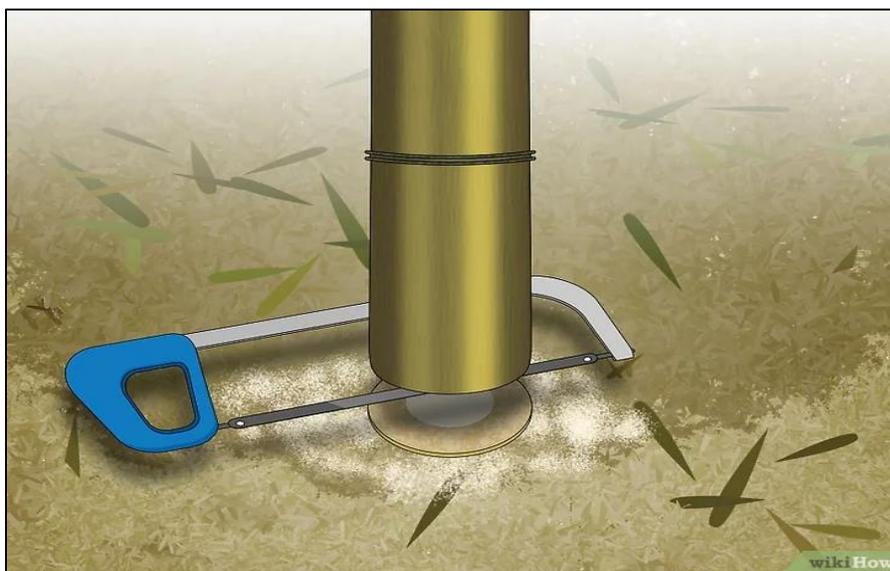
Ciclo de corte: es el tiempo que transcurre entre un aprovechamiento o corte y otro, también depende de la madurez del tallo y la extensión del área que se va a explotar.

Intensidad de corte: está determinada por la densidad de la plantación y el grado de madurez de la plantación de bambú. (Ramón Mercedes, 2006)

Método para hacer el corte: lo primero que se procede a hacer es cortar las varas que han alcanzado su madurez por encima del primer nudo con la ayuda de un hacha pequeña, a continuación, se tienen que eliminar las ramas laterales de las varas y finalmente se pone a secar en la posición más adecuada. (Ramón Mercedes, 2006)

Figura 8

Corte del bambú



Nota. En la imagen se muestra el proceso apropiado para realizar el corte en la caña guadúa.

Adoptado de Manual del Bambú, (Samuel & García, 2015)

2.6. Usos

Las semillas y raíces jóvenes se utilizan como alimento, pero las hojas sirven a manera de forraje para el ganado, también los tallos se emplean en tuberías, fabricación de muebles, recipientes de cocina, artículos de mimbre, tejidos entre otros. (Figura 9)

Para ser más específicos los tallos que alcanzan de seis meses a un año de edad, se emplean en la elaboración de canastos, esteras y carteras. Entre los dos y tres años se utilizan principalmente en la elaboración de tableros de esterilla y cables. Finalmente,

después de los tres años se emplean en la construcción de estructuras. (Ramón Mercedes, 2006)

Figura 9

Productos elaborados a base del bambú



Nota. La imagen muestra los diferentes usos que la caña guadúa puede tener y los productos del mismo. Adoptado de Manual del Bambú, (Samuel & García, 2015)

2.7. Preservación de la caña guadúa

Este proceso es de suma importancia puesto que comienza desde la cosecha al tener los cuidados previos del insumo, además el cuidado también se lo realiza en el corte y debemos asegurarnos de que los culmos estén en estado maduro, sobre el primer nudo, y así se preservará bajo los ataques de plagas como hongos e insectos.

2.7.1. Curado de la caña guadúa

Este proceso se refiere básicamente a dejar en un recipiente o piscina con agua durante algunos días a la caña, pues este término de curado se considera sinónimo de preservado que consiste en prevenir la pérdida de líquidos contenidos en el material.

La caña guadúa es uno de los recursos más valiosos y utilizados en nuestro país y en todo el mundo por poseer espectaculares propiedades físico mecánicas, innumerables una gran cantidad de especies de insectos (escarabajos y termitas) y muchas variedades de microorganismos llamados hongos. (NEC, 2016)

Otro aspecto importante a considerar es que la vida útil de la caña no tratada esta aproximadamente entre 1 a 3 años expuesta a la atmósfera y de entre 4-7 años bajo cobertura. Si bien es cierto su durabilidad depende mucho de las condiciones y el buen tratado que se le dé a la caña, pues esta puede llegar a alcanzar incluso de 10 a 15 años de vida si se trata correctamente este material. (Samuel & García, 2015)

2.7.1.1. Preservación por inmersión en agua.

Desde hace varios años este método es uno de los más usados en América y ha sido costumbre sumergir a la caña guadúa en esteros, remansos de ríos, o cualquier depósito natural sea total o parcialmente los culmos del bambú (Figura 10). Este tratamiento es muy importante porque depende mucho del tiempo que permanezca sumergido para tener una buena aplicación del material con un preservante, generalmente no debe ser menor de las cuatro semanas. (NEC, 2016)

Figura 10

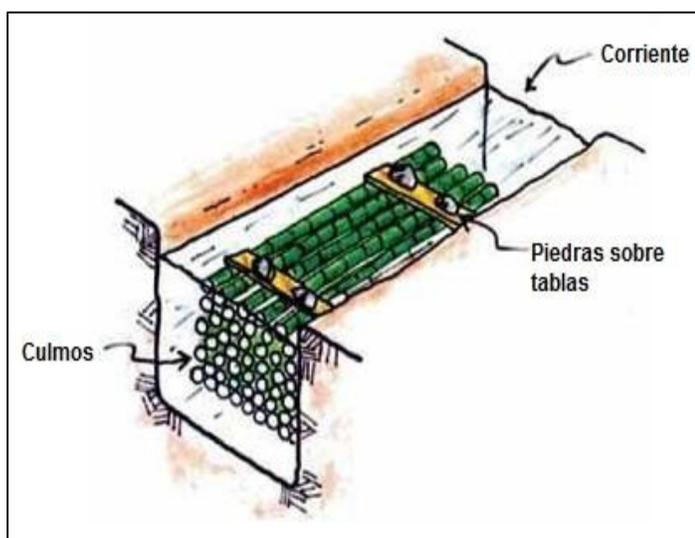
Preservación por inmersión al agua



Nota. La imagen representa el proceso de curado e inmersión en las piscinas de agua. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

Figura 11

Preservación por inmersión al agua



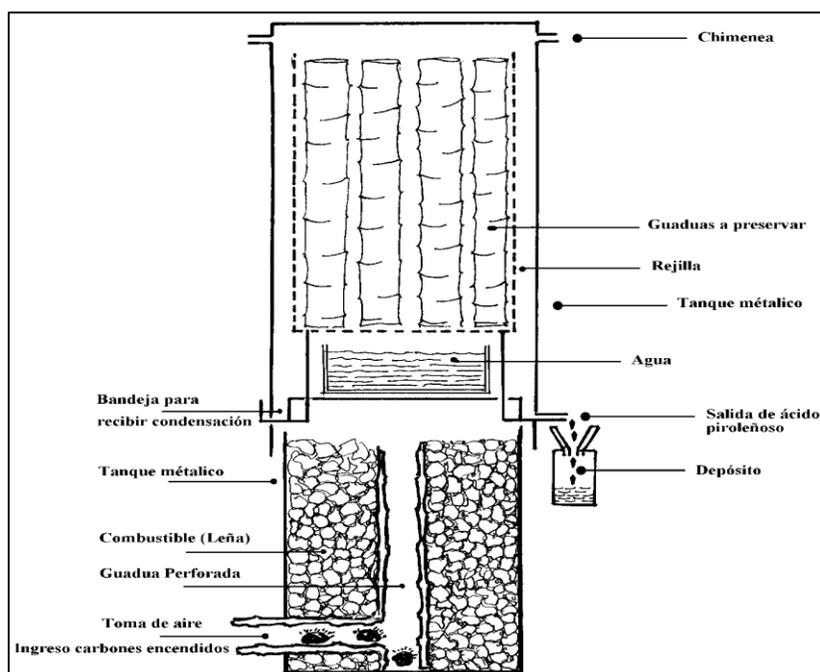
Nota. La imagen representa el proceso de curado e inmersión en las piscinas de agua. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

2.7.1.2. Preservación mediante humo

Esta es una de las técnicas más antiguas usadas no solamente en América sino también en otros continentes como Asia. Este método consiste en usar hornos en forma vertical u horizontal con una capacidad aproximada de 300 a 1000 guadúas aproximadamente. Previamente se procesa a perforar a la caña por la mitad con varillas de media para que el humo tenga una mejor penetración y no sufra ningún tipo de fisuras. Por último, el humo se produce con una hoguera a base de madera en la parte inferior del horno (Figura 12,13), cabe recalcar que este proceso dura regularmente 14 días y el humo circula por una cámara cerrada que contiene a la caña. A continuación, se presenta un esquema de la perforación de la caña y las partes del horno a utilizarse. (Samuel & García, 2015)

Figura 12

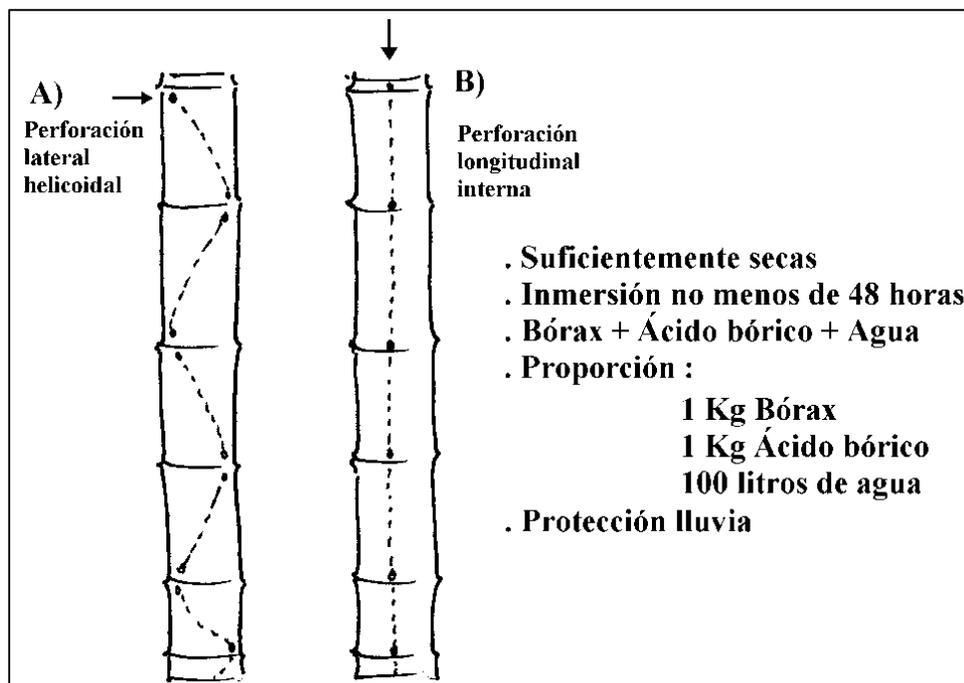
Preservación mediante humo



Nota. La imagen muestra el proceso indicado y los diferentes elementos que poseen las cámaras de humo. Adoptado de (Samuel & García, 2015)

Figura 13

Perforación con varillas de 10 / 12 mm



Nota. La imagen representa los componentes adecuados que se usan para el proceso de curado de la caña, al igual que las perforaciones respectivas. Adoptado de Guía Técnica del bambú, (Ramón Mercedes, 2006)

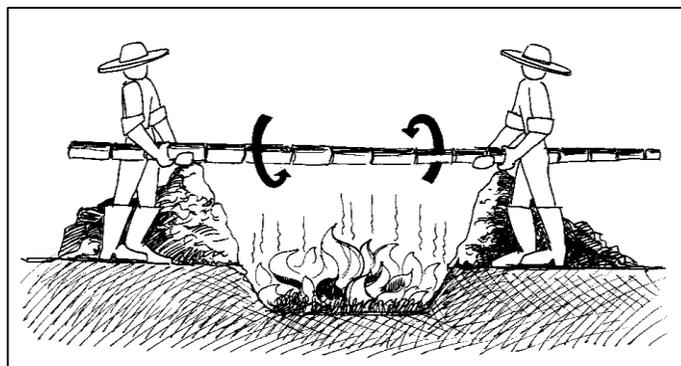
2.7.2. Proceso de secado

2.7.2.1. Secado al calor

Este método consiste en colocar la caña guadúa de manera horizontal sujetándolas de los extremos sobre una brasa de madera (Figura 14, a una distancia aproximada de 30 o 40 cm de la excavación siempre observando y evitando que la caña se queme y girándolas constantemente. (Samuel & García, 2015)

Figura 14

Secado al calor



Nota. Adoptado de Guía Técnica del bambú, (Ramón Mercedes, 2006)

2.7.2.2. Secado al aire

Este método consiste en apilar la caña guadúa en el suelo al aire libre (Figura 15,16) pero preferentemente cubierto siempre teniendo en cuenta que se los coloque sobre alguna base que impida el contacto directo el suelo. Cabe recalcar que es importante colocarlos de manera horizontal conservando un poco de distancia entre caña y caña.

Figura 15

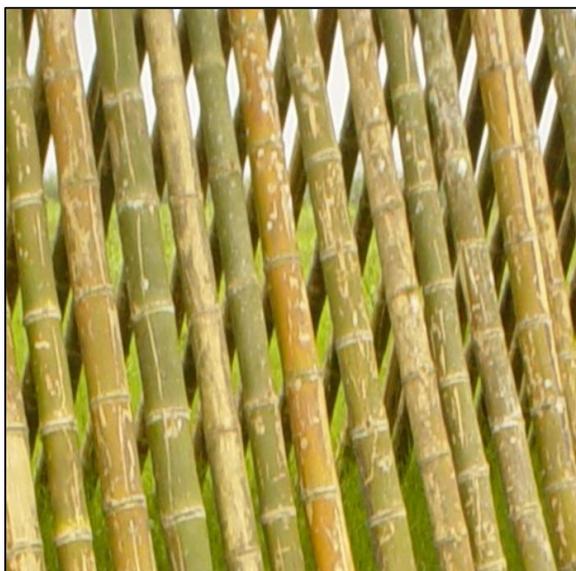
Secado al aire



Nota. La imagen muestra la manera correcta de secar las cañas al aire libre. Adoptado de Guía Técnica del bambú, (Ramón Mercedes, 2006)

Figura 16

Secado al aire



Nota. Adoptado de Guía Técnica del bambú, (Ramón Mercedes, 2006)

Atrapanieblas

2.8. Localización geográfica y recurso hídrico

2.8.1. Definición

Son construcciones que se las realiza en varios países del mundo y se las instalan en zonas con gran cantidad de neblina especialmente en los páramos puesto que la función principal de la torre es captar la mayor cantidad de partículas de agua provenientes de la neblina y recolectarla para diferentes usos. (Cereceda et al., 2011)

2.8.2. Historia

Desde hace varios años aproximadamente desde el siglo XVI se ha venido desarrollando la implementación de sistema de captación de agua tipo atrapanieblas. Los primeros indicios Surgieron en la isla de El Hierro del archipiélago de las Islas Canarias, los cronistas narran que nació con el árbol denominado “El Garoe” un árbol que captaba

de manera eficiente el agua de la neblina y abastecía a toda la población autóctona. (Cereceda et al., 2011)

En Chile a fines de 1950 en Antofagasta el profesor Carlos Espinosa medía la niebla de los cerros de la ciudad. Desde ese entonces con el pasar de los años se han creado instrumentos para captar las gotas de agua y se han ido mejorando con la existencia de la tecnología en varios países de todo el mundo. Específicamente este tipo de torres se construyeron en zonas o países que sufren de escasez del agua con la finalidad de dotarles del servicio básico para vivir. (Cereceda et al., 2011)

2.8.3. La niebla

Es un fenómeno geofísico y geográfico que ocurre generalmente en todos los ámbitos de mundo, se le considera como una nube a baja altura, la cual está compuesta por gotas muy pequeñas, a su vez tienen bajo peso lo que les impide caer al suelo y son fáciles de transportar por el viento. (Cereceda et al., 2011)

2.8.4. Humedad atmosférica

Este factor hace referencia a la cantidad de humedad en el aire, comparado con la que el aire puede mantener a esa temperatura, es decir cuando el aire no es capaz de soportar y mantener la humedad se produce lo que se denomina el rocío, caso contrario cuando existe una mayor temperatura hay evaporación y las gotas están dispersas. (Cereceda et al., 2011)

El punto de rocío es un factor muy importante para el atrapanieblas, puesto que el agua se está moviendo de forma horizontal y la malla interviene como un obstáculo captando la humedad, es decir permite que el aire descargue las gotas, para su posterior distribución. (Cereceda et al., 2011)

2.8.5. Temperatura atmosférica

Es considerado como el nivel de calor que tiene el aire en un determinado tiempo y sitio, es decir la temperatura depende de la distancia de cada punto de la tierra, en sentido norte o sur; también puede verse influenciado por la altura sobre el nivel del mar, donde las zonas más altas son más frías. (Cereceda et al., 2011)

2.8.6. Lluvia horizontal

Se produce cuando hay suficiente humedad en la atmósfera y con el viento pueda moverse hasta chocar con una cadena montañosa permitiendo la acumulación de las gotas. A su vez se generan con el choque constante de nubes bajas, ocasionando que las plantas condensen la humedad formando gotas de agua. (Echeverría et al., 2020)

2.8.7. Orografía

Es un factor de mucha importancia, pues se consideran a las montañas como obstáculos naturales que influyen en la movilidad del viento, es decir los vientos chocan y ésta se humedece, mientras que la corriente asciende o se desvía de acuerdo con la inclinación del choque o de la superficie. Teniendo en cuenta los factores relacionados con la orografía, para la instalación del sistema atrapanieblas, es necesario ubicarlo en una zona alta donde pueda tener mayor incidencia del viento con las mayores cargas de humedad y se pueda captar la mayor cantidad de agua para su recolección. (Cereceda et al., 2011)

Por otra parte, hay que tomar en consideración que la temperatura en la cordillera al poseer una gran extensión montañosa disminuye en función de su altura, por otro lado, se dice que en zonas con mayor temperatura las partículas del aire se encuentran más dilatadas y reciben mayor humedad que en otras zonas con temperaturas muy bajas. (Cereceda et al., 2011)

2.8.8. Viento

Es un factor que determinará la dirección y velocidad de la niebla al atravesar las mallas, el cual está directamente definido por las temperaturas a las que esté expuesto. La dirección y velocidad del viento se altera de acuerdo con las diferentes horas del día, así como también con las temporadas del año, las que crean cambios de temperatura, por tanto, cambios en el viento. *(Cereceda et al., 2011)*

2.8.9. Humedad absoluta y relativa

La cantidad de vapor de agua presente en el aire puede ser evaluado de diferentes maneras. La humedad absoluta consiste en medir la cantidad de masa de vapor de agua presente por unidad de aire seco. Por otro lado, la humedad relativa es aquel vapor de agua presente en la atmósfera. *(Cereceda et al., 2011)*

2.9. Diseño y eficiencia de los atrapanieblas

2.9.1. Componentes de los atrapanieblas

Generalmente este tipo de estructuras están compuesta por materiales como: mallas, cables, juntas, tanque recolector con la finalidad de recolectar agua. Este prototipo tiene como función principal tomar el agua del punto de captación hasta el punto de almacenamiento para el uso de consumo. También un aspecto importante a considerar es que la malla usada atrapa las gotas de agua de niebla, llevándolas hacia un tanque recolector ubicado en la parte inferior de la malla, en la cual el agua escurre por gravedad. *(Cereceda et al., 2011)*

2.9.2. Eficiencia de recolección

Se define como la fracción del agua que contiene la niebla que llega al estanque de almacenamiento, este factor importante a considerar se divide fundamentalmente en

tres etapas que son: eficiencia aerodinámica, la eficiencia de deposición y la eficiencia de drenado (Cereceda et al., 2011)

La eficiencia aerodinámica se refiere al flujo de agua que pasará a la malla colocada en el atrapanieblas, pues generalmente depende de su permeabilidad y sobre todo del porcentaje de sombra de dicha malla. La presión y velocidad del viento también influyen de manera directa pues este hace que la niebla pase por la malla y al momento del choque las pequeñas partículas de agua a manera de gotas queden en la malla, esto dependerá del grosor de la malla y sus características específicamente. (Cereceda et al., 2011)

La eficiencia de deposición se encarga de tomar en cuenta las gotas que tienden a seguir las líneas de flujo de aire hasta caer en la malla del atrapaniebla, se debe poner a consideración que las gotas tienen una densidad mayor que el aire al igual que su tamaño y velocidad, pues por esta razón chocará con el filamento. (Cereceda et al., 2011)

Por último, tenemos la eficiencia de drenado que se refiere a la cantidad de agua que llega al tanque recolector y que ha sido depositada previamente en la malla, también es importante considerar varios aspectos de estudio para este tipo de casos como por ejemplo la optimización del volumen, la evaporación y calidad del agua. (Cereceda et al., 2011)

2.9.3. Malla para atrapanieblas

Este tipo de malla pueden estar hechas de cualquier material que resista la intemperie y la radiación solar. Se tejen bajo el procedimiento Rachel y son fabricadas con polietileno virgen de alta densidad, cuyas especiales características la han convertido en un producto apreciado por su calidad y durabilidad. (Cereceda et al., 2011)

La malla que más se ha usado en el medio hasta la fecha es la malla fabricada con cintas de polietileno de aproximadamente 2 milímetros de ancho y algunas décimas de milímetro de espesor. (Cereceda et al., 2011)

Otro de los aspectos muy importantes a considerar de la malla es el porcentaje de sombra pues depende de esto la cantidad de recolección del agua, es decir si la malla es muy tupida tendrá poca niebla y la captura de agua será baja; en cambio si es muy pequeña de igual manera poca agua caerá a la malla y la captura también será baja. (Cereceda et al., 2011)

Este tipo de material tiene una gran importancia en el costo de la instalación y su duración pues para que la malla sea durable, el material tiene que resistir los efectos del Sol, del viento y de la corrosión. (Burgos et al., 1997)

2.10. Diseños de atrapanieblas

2.10.1. Atrapaniebla tridimensional

Este tipo de atrapanieblas no son muy comunes en el medio, pues varios de ellos están involucrados en proyectos experimentales con la finalidad de optimizar el rendimiento de la recolección de gotas de lluvia como se muestra en la figura 17,18; generalmente este tipo de estructuras se localizan en lugares muy altos con nieblas multidireccionales pues al poseer caras en distintas direcciones permite la omisión de la variante de la orientación del viento aumentando la eficiencia de la captación y mejorando la resistencia frente a los fuertes vientos. (Burgos et al., 1997)

Figura 17

Torre rectangular Ilaló



Nota. La imagen muestra la construcción de la torre ubicada en el Ilaló. Adoptado de (Carrera & Carrera, 2020)

Figura 18

Torre circular modelo Warka Water



Nota. La imagen muestra la torre circular con cada uno de sus módulos respectivos. Adoptado de (Carrera & Carrera, 2020)

2.10.2. Atrapaniebla bidimensional

Son usados generalmente este tipo de atrapanieblas en varios lugares del mundo, consisten en una superficie de colección de malla Rachel tensada entre dos postes, perpendicularmente con respecto a la dirección del viento. Este tipo de estructuras presentan generalmente problemas de rotura de malla y estabilidad de la misma, a su vez existen algunas formas de colocar los paneles, por ejemplo, pueden ser de módulos simples los cuales están formados por una sola malla o su vez por modules múltiples compuestos por varias mallas siempre perpendicular a la dirección del viento como se muestra en la figura 19 (Burgos et al., 1997)

Figura 19

Modelo bidimensional



Nota. Adoptado de (Gómez & Quinteros, 2020)

2.11. Construcción, operación y mantenimiento

2.11.1. Fabricación de piezas

Lo más importante en primer lugar es cotizar con varios proveedores tanto de ciudades grandes y pequeñas para tener una referencia en cuanto se refiere al costo, calidad y servicio. Para realizar la compra de los materiales necesarios como mallas, pernos, cables, entre otros hay que asegurarnos de la calidad del producto para obtener un resultado final favorable. En cuanto se refiere al monto y ensamblaje de piezas lo más recomendable es hacerlo en un taller y no en campo porque resulta ser más difícil y lento el ensamblaje. Por último, es importante tener planos claros de cada una de las piezas y uniones con el objetivo de no cometer errores al momento de su construcción e instalación y así podremos verificar que el tamaño y las especificaciones sean las correctas. (Cereceda et al., 2006)

2.11.2. Montaje

Lo primero de debemos hacer es seleccionar el lugar de montaje preferentemente un lugar limpio sin escombros o vegetación alta, adicional a esto en lo posible que sea plano o hasta con una pendiente máxima del 25%, luego se procede a la marcación de los puntos de instalación, ejecución de los cimientos, levantamiento de la torre y la instalación de la malla y tanque. (Cereceda et al., 2006)

2.11.3. Operación

En primer lugar, para una correcta operación se debe implantar un buen sistema de medición, es decir se utilizará un neblinómetro, con la finalidad de identificar la potencia de captura de niebla del lugar, también un flujómetro que establezca la cantidad de agua que recolecta. (Cereceda et al., 2006)

2.11.4. Inspección

Se recomienda asistir al lugar de construcción al menos una vez a la semana para identificar las posibles fallas o anomalías presentes en la torre atrapanieblas. Algunas de las fallas más comunes presentes en la estructura son: fallas en la instalación de la torre debido a que estas pueden colapsar con la potencia del viento, tensión no adecuada de cables, presencia de una malla con poca tensión ocasionando pérdida de agua en el tanque. (Cereceda et al., 2006)

2.12. Uso del agua

2.12.1. Antecedentes

Según varios estudios a nivel regional se ha determinado que los atrapanieblas podrían llegar a generar un máximo de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ de recursos hídricos, esto significa que aproximadamente con tan solo un 4% del agua se podría cubrir y abastecer a toda la población de la región de sus necesidades de agua potable. (Cereceda et al., n.d.)

Por otra parte, se debe considerar que uno de los aspectos que puede llegar a incidir en la calidad del agua es el pH, puesto que el agua natural tiene 5,6 causada por el CO_2 atmosférico, sin embargo, el pH de la niebla puede llegar a ser menor debido a las emisiones de polvo o a su vez por aerosoles emitidos por el hombre. (Cereceda et al., 2006)

Otro de los factores que afectan es que cuando la malla queda expuesto a períodos sin niebla surgen elementos atrapados en los orificios de la misma como por ejemplo el polvo, por tanto, se recomienda limpiar los atrapanieblas para el uso de agua potable caso contrario se deberá contar con un tanque reservorio que permita la decantación y permita retener las partículas acumuladas. (Cereceda et al., 2006)

2.12.2. Usos actuales

El agua de niebla hoy en día es potencialmente usada en diversas actividades sean estas económicas, industriales, agrícolas entre otras (Cereceda et al., 2006) Los usos que puede tener el agua recolectada de un atrapaniebla son múltiples como, por ejemplo:

- a) Usos mineros
- b) Actividades agrícolas
- c) Agua para consumo humano
- d) Bebederos para animales
- e) Actividades turísticas
- f) Actividades recreacionales
- g) Uso agroindustrial

2.13. Atrapanieblas en el mundo

Con el pasar de los años los atrapanieblas han ido implementándose en más países del mundo con diseños y formas de construcción diferente, pero con un objetivo en común que es el de recolectar el agua proveniente de la niebla para dar diferentes usos especialmente en usos domésticos, animal o usos productivos. (Cereceda et al., 2006)

2.14. Chile

2.14.1. Proyectos de CONAF

La Corporación Nacional Forestal, optó por construir un modelo de captación de agua de niebla en la década del 70, en primer lugar, se instalaron alrededor de 10 atrapanieblas de 48 m² en una de las hectáreas de forestación del parque Nacional Fray Jorge llena de arbustos cuyo objetivo fue recuperar el bosque; adicional a ello se construyó un abrevadero para abastecer de agua al ganado caprino. Esto generó un riego

normal en esta área ocasionando un repoblamiento de plantas de olivillo, petrillo y canelo. Una vez que las plantas obtuvieron su altura y crecimiento necesario podrán abastecerse de la niebla y automáticamente se dejó de usar estas estructuras por lo tanto ya no están operativas. (Cereceda et al., 2006)

2.14.2. Chungungo, Comuna de La Higuera.

La Corporación Nacional Forestal implementó 100 atrapanieblas en el cerro El Tofo, es así como se implementó una red hidráulica de aproximadamente 6 km desde los atrapanieblas hasta unos estanques de 100 m³ además de una red adecuada de distribución para uso doméstico en 90 casas del pueblo Chungungo. Con el pasar del tiempo y la llegada del agua como líquido vital para el consumo la gente implementó sus cultivos, huertos familiares, siembra de especies, crianza de animales, entre otros. (Cereceda et al., 2006)

Este sistema de atrapanieblas proveyó de aproximadamente 15.000 litros de agua a la comunidad durante 10 años como se muestra en la figura 20, pero lamentablemente no se pudo mantener esta red de distribución de agua puesto que implicaba mantener coordinada una serie de entidades, por tal razón este sistema de captación y distribución desapareció hasta que el gobierno dotó al pueblo con un sistema de desalinizador de agua de mar. (Cereceda et al., 2006)

Este proyecto de la implementación de los atrapanieblas sirvió como ejemplo a numerosas comunidades del mundo, específicamente a las comunidades de Chile las cuales gozan de sus beneficios por el momento. Esta experiencia fue conocida a nivel mundial por medio de canales de televisión, artículos de diarios y revistas de renombre, dando como resultado exportar esta idea y sistema a aproximadamente 30 países del mundo y así abastecer de agua potable a la comunidad. (Cereceda et al., 2006)

Figura 20

Sistema de atrapaniebla en Chungungo



Nota. La imagen muestra el atrapaniebla ubicado en Chungungo. Adoptado de Agua de Niebla, (Cereceda et al., 2006)

2.14.3. Comunidad Agrícola de Peña Blanca, Comuna de Ovalle

La Universidad Católica de Chile junto con la Federación Nacional de Agua Potable Rural construyeron atrapanieblas considerando una alternativa económica y limpia para la obtención el agua, captando la camanchaca que proviene del mar la cual se levanta específicamente en horas de la tarde en el cerro Grande de la comuna de Ovalle. (Cereceda et al., 2006)

Actualmente existen instalados alrededor de 24 atrapanieblas con unas dimensiones de 2,85 por 2,95 metros como se muestra en la figura 21 con una superficie de captación de aproximadamente 200 metros cuadrados y a su vez una captación de agua de 4,5 m²/día. (Cereceda et al., 2006)

El principal uso que brindad del agua recolectada por los atrapanieblas es en el mejoramiento del acceso y alimentación de ganado, reforestación de un área,

recuperación de la vegetación nativa. Un aspecto importante a considerar es que aún no se ha podido usar el agua para la distribución de uso doméstico puesto que los habitantes se encuentran a una distancia muy lejana de los atrapanieblas. (Cereceda et al., 2006)

Figura 21

Atrapaniebla en Peña Blanca



Nota. La imagen muestra la captación del agua a través del atrapaniebla en Peña Blanca. Adoptado de Agua de Niebla, (Cereceda et al., 2006)

2.14.4. Producción de Cerveza “Atrapaniebla”, Peña Blanca

Se llevó a cabo la producción de la primera cerveza artesanal desde el año 2011 liderada por los hermanos Carcuro Y CORFO-INNOVA y la Comunidad Agrícola Peña, pues obtienen el agua de los atrapanieblas implantados en la zona y luego empieza el proceso de producción de la misma como se muestra en la figura 22. Con el pasar del tiempo han colocado dos centros de producción y elaboran la cerveza denominada Atrapaniebla la cual está patentada y su nivel de producción aproximadamente es de 6000 botellas mensuales. (Cereceda et al., 2006)

Figura 22

Cerveza artesanal Atrapaniebla



Nota. La imagen muestra la cerveza artesanal usada en la comunidad Peña Blanca. Adoptado de Agua de Niebla, (Cereceda et al., 2006)

2.14.5. Santuario Padre Hurtado, Comuna de Canela

La familia Baehr, familia filántropa de Canadá instauró 10 colectores grandes en la comuna de Canela en Chile, durante un período de cinco años aproximadamente los atrapanieblas proporcionaron cerca de 1500 litros de agua a través de una tubería de 3.5 km al Santuario del Padre Alberto Hurtado, es decir el uso principal del agua radicaba en enviarla a un depósito para el hogar del vigilante, los jardines del lugar y sobre todo para los baños usado por millones de visitantes cada mes al santuario. (Cereceda et al., 2006)

Luego de varios años el padre fue trasladado y por ende todo este trabajo quedo interrumpido, es así que este sistema de captación ya no está operable por falta de mantenimiento y cuidado. (Figura 23)

Figura 23

Santuario del Padre Hurtado



Nota. La imagen representa al Santuario del Padre Hurtado lugar que era abastecido por el agua de las torres atrapanieblas. Adoptado de Agua de Niebla, (Cereceda et al., 2006)

2.14.6. Falda Verde Comuna de Chañaral

En la región de Atacama a 5 km de Chañaral los comuneros implantaron atrapanieblas conformados por palos a sus extremos y en el interior cubiertos por una malla llamada Rachell como se muestra en la figura 24, el objetivo principal de esta estructura es captar el agua de niebla y brindar diferentes usos del agua, en este caso los 9 atrapanieblas existentes generan aproximadamente entre 500 – 750 litros diarios de agua y lo utilizan generalmente para uso doméstico, para riego de aloe vera presente en el lugar e incluso para pruebas con invernaderos. (Cereceda et al., 2006)

Figura 24

Falda Verde-Atrapaniebla Atacama



Nota. La figura muestra el atrapaniebla bidimensional construido en Atacama. Adoptado de Agua de Niebla, (Mauricio & Castillo, n.d.)

2.14.7. Alto Patache en Región de Atacama

Esta localidad se encuentra ubicada al sur de Iquique y cuenta con una ventaja primordial puesto que alrededor de la zona se encuentran montañas de aproximadamente 700 metros sobre el nivel del mar ocasionando una gran cantidad de oasis natural de niebla lo cual es beneficioso para la captación de la misma.

El objetivo principal de la zona radica en estudiar las especies vegetales de la zona y proteger la biodiversidad de la niebla, allí se propone utilizar el agua recolectada en la distribución de una canaleta debajo de los cerros (Figura 25), pero lamentablemente esto no ha sido posible y la idea aún no se ha concretado puesto que no existen los recursos suficientes para el mantenimiento de los equipos necesarios y por la mala organización de los pobladores. (Cereceda et al., 2006)

Figura 25*Atrapaniebla Atacama*

Nota. La imagen muestra varios atrapanieblas contruidos en la zona de Atacama. Adoptado de Agua de Niebla, (Cereceda et al., 2006)

2.15. Otras zonas del mundo

2.15.1. Islas canarias

Las islas Canarias pertenecientes a España poseen un sistema de recolección de niebla conformado por captadores ecológicos ubicados a una altura de 1600 metros, estos dispositivos prismáticos están elaborados con material de fibra de vidrio y el agua de niebla recolectada se precipita a un decantador y posterior a ello se almacenan en otros depósitos. (Cereceda et al., 2006)

En estas islas se ha aprovechado la incidencia del viento por tal motivo sin importar la dirección que tenga el viento empuja la niebla hacia el recolector, su papel es muy importante puesto que la velocidad del viento hace que pase gran cantidad de agua en metros cúbicos generando una mayor recolección. (Mendoza, 2014).

El uso brindado al gua recolectada de niebla es a través del agua embotellada con marca “Alisos” de medio y 1 litro, pero tuvo ciertos inconvenientes puesto que al no contar

con permisos medioambientales y sanitarios no puede circular en el mercado con normalidad. (Cereceda et al., 2006)

2.15.2. Lomas de Atiquipa, provincia de Arequipa, Perú

En Perú una de las obras más importantes fue realizada en la provincia de Arequipa, allí se implementaron 28 atrapanieblas con una captación total de aproximadamente 1,344 m³ con 4 estanques de almacenamiento y a su vez 5 módulos de reforestación de cercos de protección. La finalidad de este proyecto radicaba en recolectar el agua lluvia para detener la degradación del ecosistema en estas lomas, y abastecer de agua a toda la zona.

Una vez finalizado el proyecto cerca de 250 hectáreas quedaron consolidadas como área de conservación en las cuales se instalaron varias especies de flora, de esta manera la comunidad empezó a contar con un programa de mantenimiento y control de fauna en dichas zonas. (Cereceda et al., 2006)

Uniones

2.16. Aspectos generales

El objetivo principal de las uniones consiste en brindar continuidad entre los elementos estructurales de construcción es decir que los esfuerzos puedan transmitirse de una manera segura. Otro aspecto importante a considerar es que, en las construcciones con bambú, las uniones son más difíciles de resolver puesto que es redondo y hueco y tiene nodos a distancias variables y transversalmente no es perfectamente circular ocasionando varios inconvenientes en sus diseño y construcción. (*Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú*, n.d., 2015)

2.17. Problemas internos

Uno de los mayores problemas a considerar es que la caña guadúa es considerado como un material anisotrópico que quiere decir que se contrae y se expande

en forma desigual tanto en el aspecto longitudinal, tangencial y radial. Esto ocurre porque posee una resistencia muy baja a esfuerzos de corte paralelo a sus fibras. (NEC, 2017)

Lo más óptimo es que las uniones se las elaboren lo más cerca posible a los nodos puesto que la caña guadúa posee una forma tubular y varía en su tamaño, peso y espesor y esto puede ocasionar que se aplasten fácilmente debido a la presencia de internodos. (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

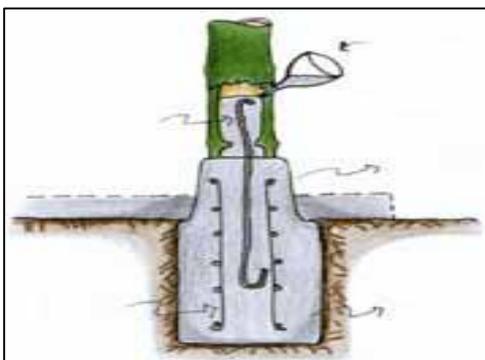
2.18. Tipos de uniones

2.18.1. Uniones en cimentación

Para proteger a la caña guadúa se recomienda envolverla en una base para evitar la humedad del suelo fabricada con un anclaje de varillas (Figura 26). Es decir, colocamos el bambú y se procede a rellenar el hueco con mortero o a su vez se procede a doblar la varilla en forma de gacho y colocamos un pasador. (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

Figura 26

Anclaje de columnas con varillas de refuerzo



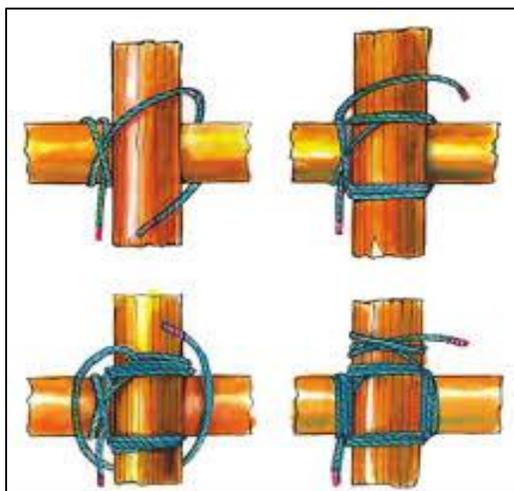
Nota. La imagen muestra el tipo de anclaje de la guadúa y la varilla. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

2.18.2. Uniones con amarras

Las uniones con amarras son generalmente las más usadas en el medio, para ello se usa diversos materiales como por ejemplo material orgánico, tiras de bambú, fibras de palma, ratán, alambre galvanizado o cualquier otro material flexible con la finalidad de unir el elemento con el material de fijación. (Figura 27). Un aspecto a tomar en cuenta es que también existe un inconveniente pues al usar estos tipos de materiales de origen orgánico corren el riesgo de ser atacados por agentes biológicos. (NEC, 2017)

Figura 27

Uniones en estructura de caña



Nota. La imagen muestra los diferentes tipos de amarres entre uniones con materiales conocidos. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

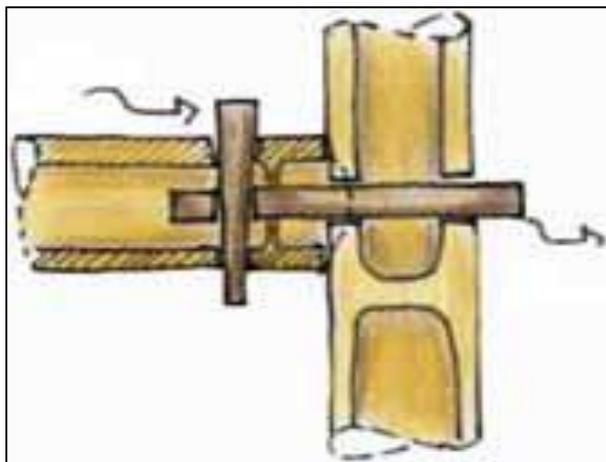
2.18.3. Uniones con pasadores

Por lo general se utilizan pasadores de maderas duras, bambú y acero, se sujetan en forma paralela al eje de los culmos y se aseguran con otros pasadores más pequeños (Figura 28, 29). También hay que tener en cuenta y cuidado en la ubicación de los huecos para los pasadores puesto que si los hacemos muy al extremo la fuerza en ese punto

puede romper la caña por tal motivo es preferible hacer la perforación del hueco a poca distancia de los nodos. (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

Figura 28

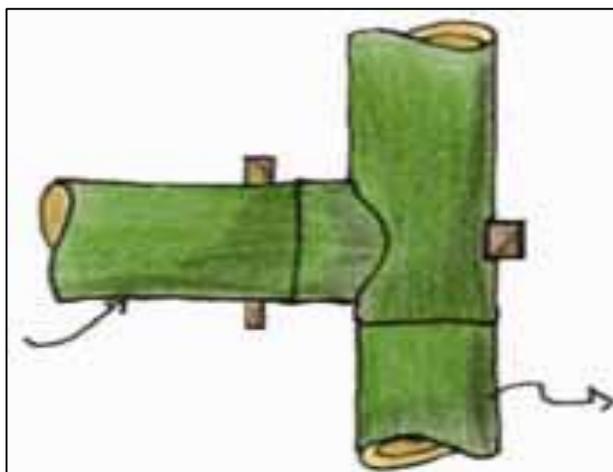
Uniones con pasador



Nota. La imagen muestra el detalle del pasador de madera usado para a unión entre cañas. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015).

Figura 29

Uniones con pasador



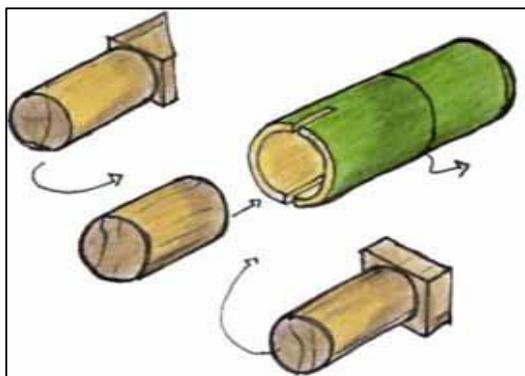
Nota. La imagen muestra el tipo de unión con pasador generalmente usado. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

2.18.4. Uniones con centro de madera

En este tipo de uniones se rellena el extremo hueco del culmo con un cilindro de madera fijado con pegamento o resina, con la finalidad de incrementar la capacidad de carga del bambú (Figura 30). Hay que considerar un aspecto importante que es las rajaduras en la caña, pues para evitar que se rajen los culmos, se hacen previamente dos hendiduras en el extremo y después se coloca la pieza de madera con pegamento y se aprieta el extremo con una abrazadera. A continuación, se describen varias maneras de fijar la pieza de madera al bambú. (NEC, 2017)

Figura 30

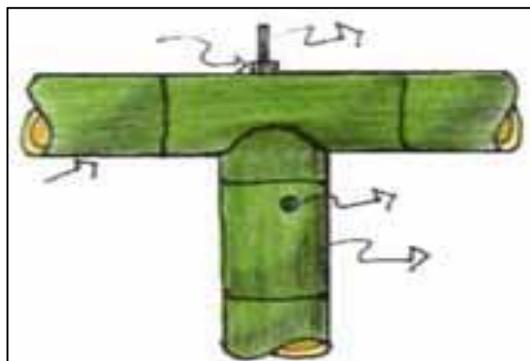
Uniones con centro de madera



Nota. La imagen muestra otro tipo de conexión conocido como centros de madera. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

2.18.5. Uniones metálicas

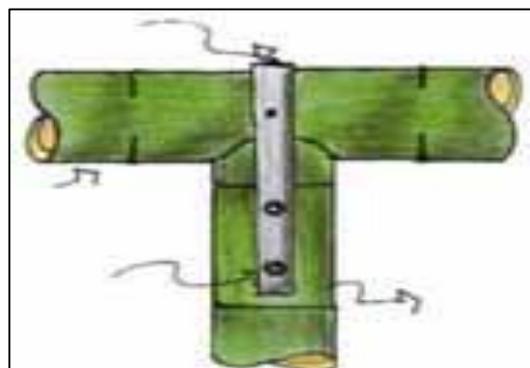
Este tipo de uniones consiste en hacer un hueco en el bambú, reforzarla con varillas e introducir mortero para rellenar el hueco del bambú (Figura 31), este tipo de uniones es óptimo puesto que se aprovecha el diámetro total del culmo, pero tiene una desventaja que es que la caña puede rajarse, debido a la disminución de la humedad relativa dando como consecuencia que el material se contraiga y se quiebre. (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

Figura 31*Uniones metálicas*

Nota. La imagen muestra el detalle correcto de las uniones metálicas. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

2.18.6. Uniones con pasadores o tiras de acero

En esta conexión de igual manera se realiza una perforación con taladro a la caña para evitar rajaduras y se coloca las varillas de acero en la sección transversal, relleno después el interior hueco con mortero (Figura 32). Posterior a ello se procede a asegurar con tiras de acero lateralmente. (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d.)

Figura 32*Uniones con pasadores*

Nota. Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

Una vez analizado los diferentes tipos de uniones procedemos a colocar a continuación una tabla comparativa de las mismas con la finalidad de observar sus ventajas y desventajas constructivas. (Tabla 3)

Tabla 3

Comparaciones de tipos de uniones

Tipo de unión	Ventaja	Desventaja	Recomendaciones	Función
Con amarre	Fáciles de realizar	No transmiten todos los esfuerzos	Los amarres no deben quedar flojos	Para construir estructuras livianas temporales
Con pasadores	Rapidez al ensamblar	No se aprovecha todo el diámetro del culmo	Realizar las perforaciones cerca del nodo	Para estructuras que requieran rapidez constructiva
Con centro de madera	Mejor transmisión de esfuerzos	Contar con el equipo necesario	Utilizar resina adecuada	Para estructuras tridimensionales
Combinación de sistemas	Fácil reemplazo de piezas	Mayor cantidad de material	Realizar un buen diseño de piezas	Para reforzar las uniones

Nota. La imagen muestra los diferentes sistemas usados para la conexión de cañas guadúas.

Adoptado de (Manual Para La Construcción Sustentable Con Bambú, n.d., 2015)

Cimentaciones

2.19. Aspectos generales

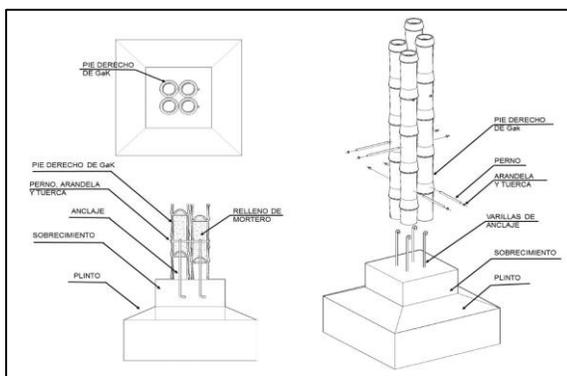
La cimentación de una estructura es aquello que la sustenta sobre el terreno. Generalmente está enterrada y transmite al terreno su propio peso y las cargas recibidas, de modo que la estructura que soporta sea estable, la presión transmitida sea menor a la admisible y los asientos se encuentren limitados. Esta consta de dos partes fundamentales que son: el cimiento, y el terreno de cimentación.

Para la cimentación de la torre hay que tomar en cuenta que la caña al igual que la madera se debe mantener alejada de la humedad, contactos con el agua y la exposición directa a los rayos UV. Por esta razón se decidió construir plintos en cada uno de los extremos de la base de la torre con la finalidad de brindar mayor seguridad y estabilidad a la estructura (Figura 33). Una vez realizado el trazado y las excavaciones, la obra de cimentación se ejecutará de acuerdo a los capítulos de la NEC del sistema constructivo a utilizar, basado en los planos estructurales y detalles constructivos. (NEC, 2017)

Se debe construir un sobrecimiento de altura mínima de 200 mm sobre el nivel del terreno natural para recibir los elementos estructurales verticales de GaK (NEC, 2017)

Figura 33

Cimentación (NEC, 2017)



Nota. La figura muestra los detalles de los plintos a usar. Adoptado de Norma Ecuatoriana de la Construcción (GAK)

Las cimentaciones se clasifican en dos grandes grupos que son: cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas. Las cimentaciones superficiales son aquellas que reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal, y se dividen en:

- Zapatas aisladas
- Zapatas combinadas
- Plintos
- Zapatas corridas
- Losas de cimentación

Para la construcción de la torre atrapanieblas se escogió los plintos como mejor alternativa constructiva.

2.20. Plintos Aislados

Este tipo de cimentación se lo utiliza generalmente como soporte de una sola columna o a su vez un conjunto, y se puede utilizar diversos materiales como por ejemplo hormigón armado, macizo de hormigón simple o incluso hormigón ciclópeo. Las zapatas de hormigón armado deberíamos considerarlas al menos de 40 cm de peralte en edificaciones de varios pisos, caso contrario admitir espesores inferiores en el caso de estructuras livianas.

Dentro de los criterios para el diseño de plintos hay que considerar que los esfuerzos en el suelo no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles bajo condiciones de carga sin factores de mayoración. Otro aspecto a considerar es que cuando la combinación de carga incluye la carga sísmica y viento los esfuerzos admisibles pueden incrementar en un 33.3%. (Romo, 2010)

Capítulo III

Materiales y métodos

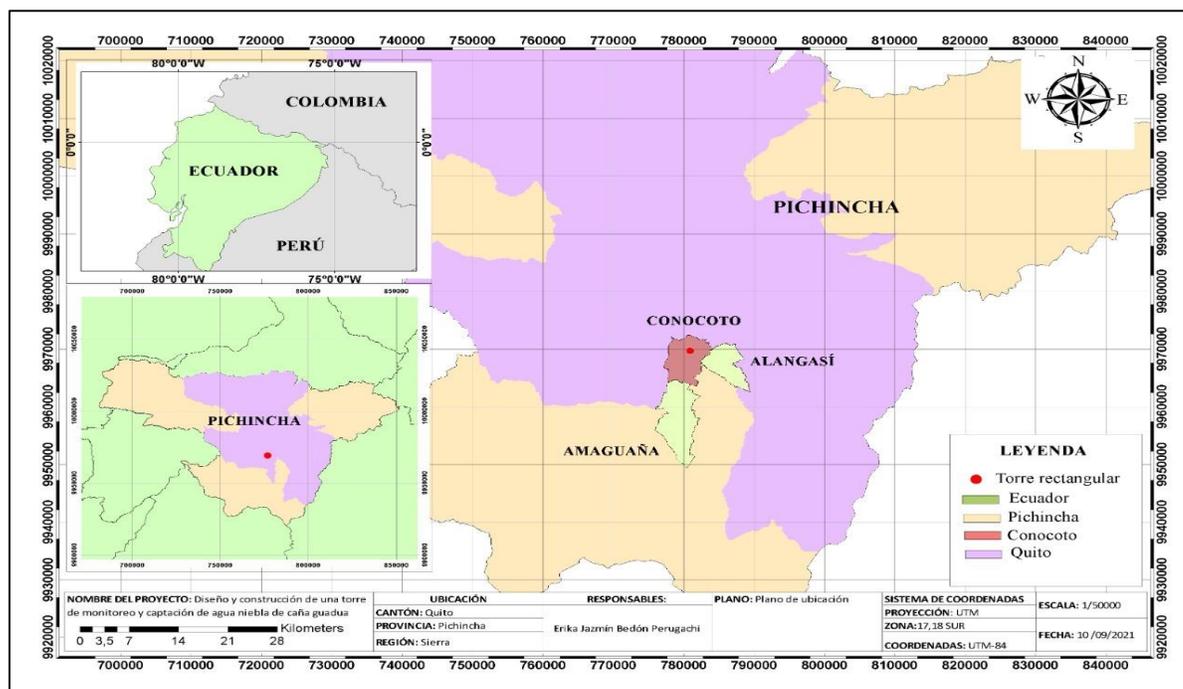
3.1. Área de estudio

3.1.1. Ubicación

La presente zona de estudio se encuentra localizada en Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Quito identificándose como la zona principal Conocoto (Figura 34). Está ubicada a 11 km de la Capital sobre la ladera oriental de la Loma de Puengasí. Constituye un área importante alrededor de 750 hectáreas, se consideran Punto Seguro en esta zona, cubre gran cantidad de biodiversidad tanto animal como vegetal y posee características propias con un microclima local. (Carrera-Villacrés et al., 2020). Sus coordenadas geográficas referentes a latitud son: 0° 19' 12.6" S y una longitud de: 78° 30' 05.9" W

Figura 34

Mapa de ubicación



Nota. La figura muestra el mapa de ubicación con sus respectivas coordenadas.

3.1.2. Acceso (Referencia)

La zona de estudio se encuentra en la provincia de Pichincha, sector Conocoto, el acceso principal es por la antigua vía a Amaguaña en dirección al Parque Metropolitano del Sur.

3.1.3. Vegetación

En la zona de estudio, existe la predominancia de bosque natural en un 70% aproximadamente, cuya principal especie endémica es el eucalipto, un 20 % corresponde a la reforestación de varias especies vegetales y un 10% corresponde a zona poblada del sector. (GADP de Conocoto, 2015)

3.1.4. Clima

Se recopiló la información de la estación Izobamba la cual es la más cercana a la parroquia de Conocoto, basada en la información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), corresponde al clima ecuatorial mesotérmico seco. (INAMHI, 2012)

3.1.5. Altitud

Conocoto está en la cumbre de la Loma de Puengasí a 3.175 msnm y el más bajo está a 2.390 msnm.

3.1.6. Temperatura

Según varios estudios realizados por INAMHI se determinó que la temperatura oscila entre 8°C y 26 °C con un valor de temperatura media anual de 17°C. Estos valores hacen del clima de Conocoto uno de los mejores del mundo, por tal razón muchas personas le conocen como la tierra de la eterna primavera. (INAMHI, 2012)

3.1.7. Precipitación

Según varios estudios realizados por INAMHI se determinó que la zona cuenta con una precipitación aproximada de 180,8 mm/añal. (INAMHI, 2012)

3.1.8. Viento

a) Velocidad instantánea máxima del viento

La velocidad del viento es considerada como la relación entre la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo. Es decir, esta velocidad corresponde al caso de un intervalo infinitamente pequeño. (NEC 2015)

b) Velocidad corregida por el viento

La velocidad instantánea máxima del viento se multiplicará por un coeficiente de corrección σ que depende de la altura y de las características topográficas o de edificación del entorno de acuerdo a la figura 35 (NEC 2015)

$$V_b = V * \sigma$$

Dónde:

V_b : velocidad corregida del viento en m/s

V : velocidad instantánea máxima del viento en m/s registrada a 10 m de altura

σ : Coeficiente de corrección

Las características topográficas se reparten en 3 categorías:

- Categoría A (sin obstrucción): edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos.
- Categoría B (obstrucción baja): edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10m.
- Categoría C (zona edificada): zonas urbanas con edificios de altura.

Figura 35

Coeficiente de corrección

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Nota. La imagen muestra los diferentes coeficientes de corrección según (De & Construcción, n.d.)

3.1.9. Materiales y Equipos

- Equipo de campo: balde, pico, pala, guantes, llaves mixtas, metro, nivel, soldadora, cortadora de madera, taladro, tijera, alambre galvanizado.
- Software SAP 2000

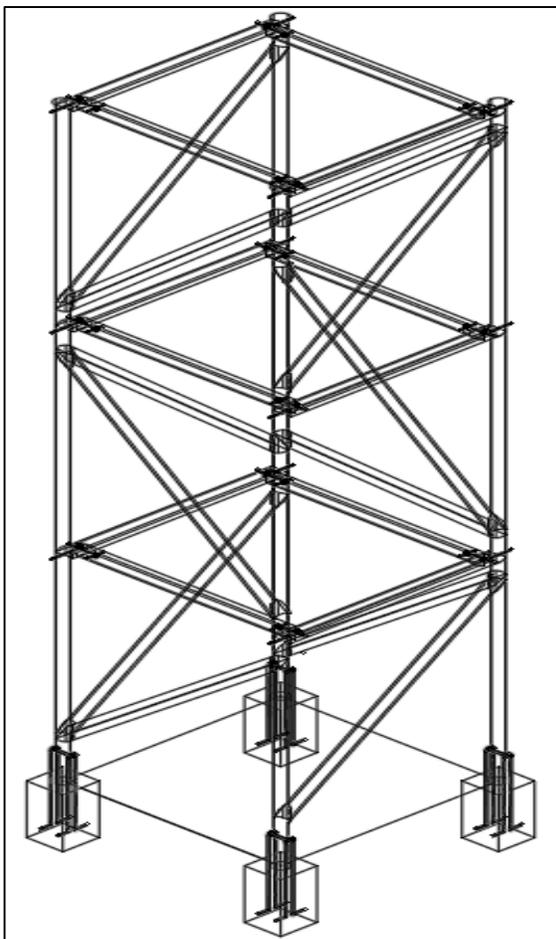
3.2. Prefactibilidad

Se presentó como propuesta N° 1 el diseño de la torre atrapaniebla considerando una placa de metal en la cimentación de tal manera que no esté en contacto con el suelo la caña y se pueda anclar con un perno a la placa de metal. Por otro lado, para las uniones de conexión se consideró un corte tipo boca de pez mediante la cual atraviesa un pasador de metal para brindar mayor rigidez a la estructura. La característica fundamental de la torre es que sea desmontable y está considerada en 3 módulos de 2 metros cada una mostrada en la figura 36. Posterior a ello se ingresó los datos respectivos en el Programa

SAP obteniendo resultados negativos al no pasar los chequeos necesarios en el tipo de uniones de conexión usadas, finalmente se puede concluir que dicha propuesta no fue la más óptima al no brindar seguridad a la estructura.

Figura 36

Diseño inicial de la torre atrapaniebla



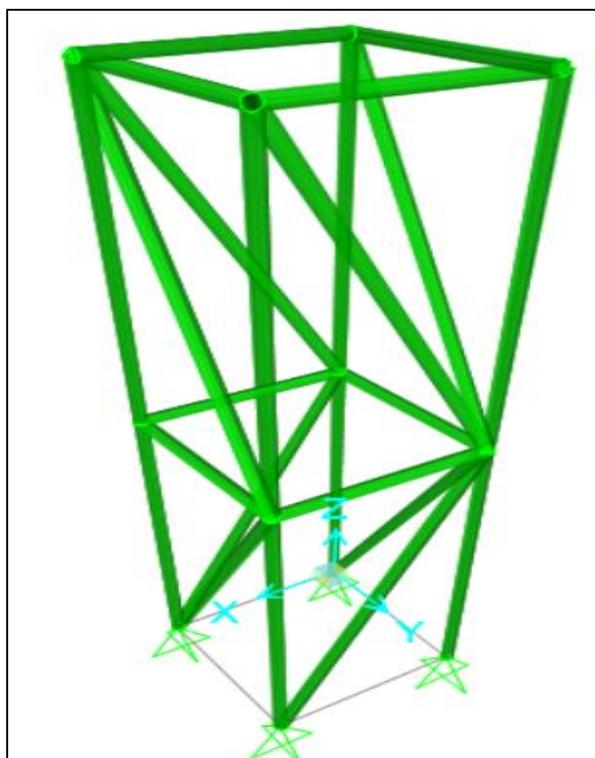
Nota. La imagen muestra el diseño previo de la torre atrapaniebla considerando 3 módulos.

Se presentó como propuesta N 2 el diseño de la torre atrapaniebla desmontable de 2 módulos como se muestra en la figura 37, considerando una placa de metal en la cimentación de tal manera que no esté en contacto con el suelo la caña y se pueda anclar

con un perno a la placa de metal. De la misma manera se procedió a ingresar los nuevos datos en el Programa SAP obteniendo resultados positivos, finalmente se concluye que la estructura de 2 módulos de 3 m si pasó todos los chequeos y soportó todas las cargas que se mencionaron anteriormente, cabe recalcar que por mayor seguridad no es muy óptimo realizar la construcción de esta torre porque con el tiempo podría generar mayor problema al tener una altura considerable.

Figura 37

Diseño de 2 módulos en SAP 2000



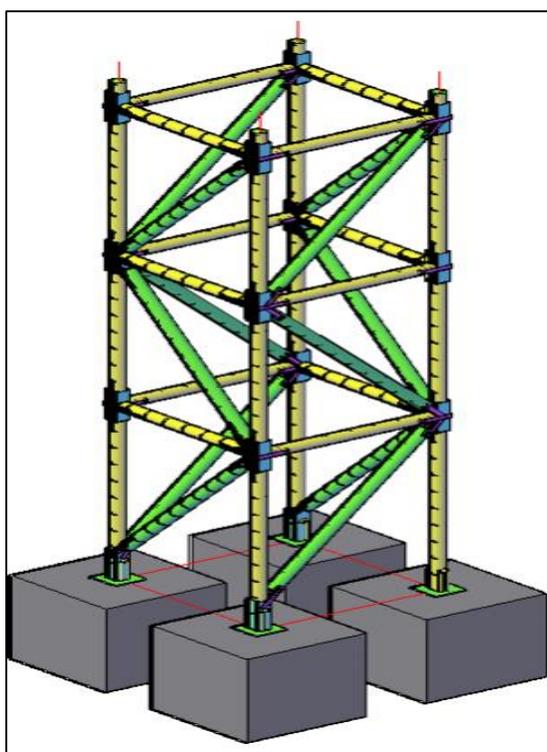
Nota. La imagen muestra el diseño en 3D realizado en SAP2000.

Se presentó como propuesta N 3 el diseño de la torre atrapaniebla diferente a las anteriores mencionadas, se optó por tomar medidas de 1 m de ancho por 1 metro de largo y 1 metro de profundidad para la cimentación de cada uno de los plintos correspondientes con hormigón ciclópeo considerando la medida mínima según la norma NEC SE CG, se

diseñó unos cañutos para que embone perfectamente la caña guadúa y con el perno poder anclar a una placa metálica sobre la cimentación. Para las juntas de conexión se realizó el diseño de pernos y placas tanto en el interior como exterior de las juntas como se muestra en la figura 38. Finalmente nos arrojó resultados favorables, sin embargo, se decidió hacer algunos cambios en la estructura.

Figura 38

Diseño de 3 módulos en 3D



Nota. La imagen muestra el diseño en 3D realizado en AutoCAD

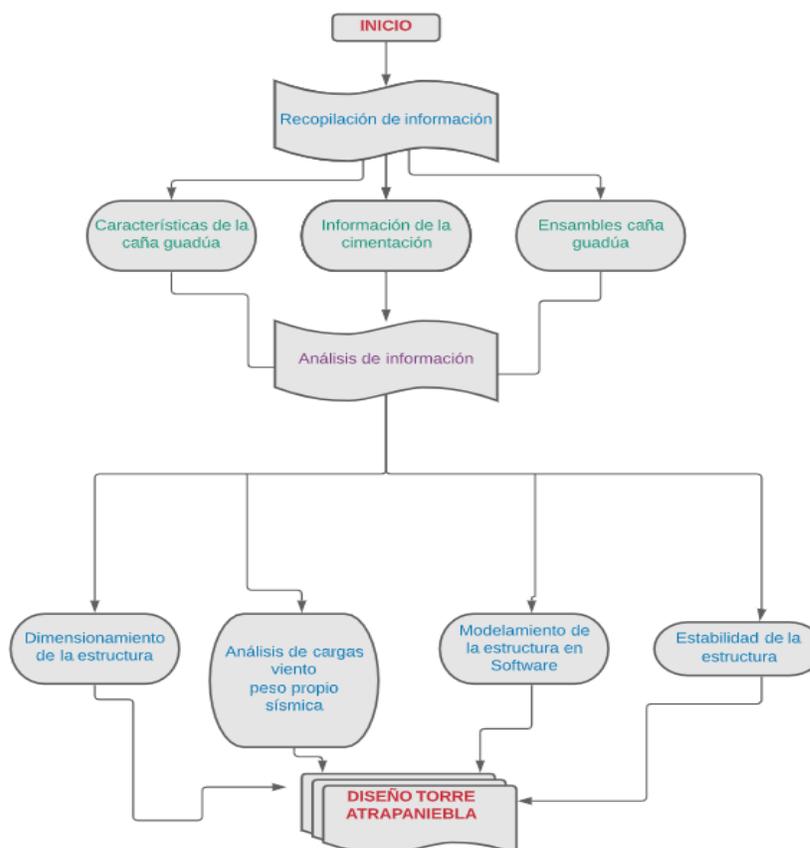
Finalmente se eligió la propuesta N 4 como la más factible tanto económicamente como segura al momento de su construcción, el diseño de la torre atrapaniebla se basa en realizar plintos rellenos de hormigón ciclópeo fundidas dos platinas de metal en forma de L, junto con un tubo de PVC sobresalido con la finalidad de que las cañas que van de manera vertical puedan embonar perfectamente en el tubo, adicional a ello para las juntas

de conexión se trabajará con tubo negro cuadrado y platinas de acero tanto horizontales como verticales para que puedan sujetarse bien cada una de las cañas y colocar pernos en cada una de las uniones respectivamente.

3.3. Metodología

Figura 39

Descripción del diseño de la torre atrapaniebla



Nota. La imagen muestra el esquema de la descripción del diseño de la torre atrapaniebla.

Para el diseño de la propuesta de la torre atrapaniebla se tomó como punto de partida la recopilación de información basada en la captación de lluvia en diversos países del mundo tomando como línea base las publicaciones de artículos científicos, expertos y revistas especializadas en este tema. A su vez se indagó a profundidad las

características y propiedades de la caña guadúa material que usaremos para la construcción de la torre atrapanieblas pues su objetivo será fundamentar las bases teóricas acerca de la (GAK), y la evaluación del material como sistema constructivo.

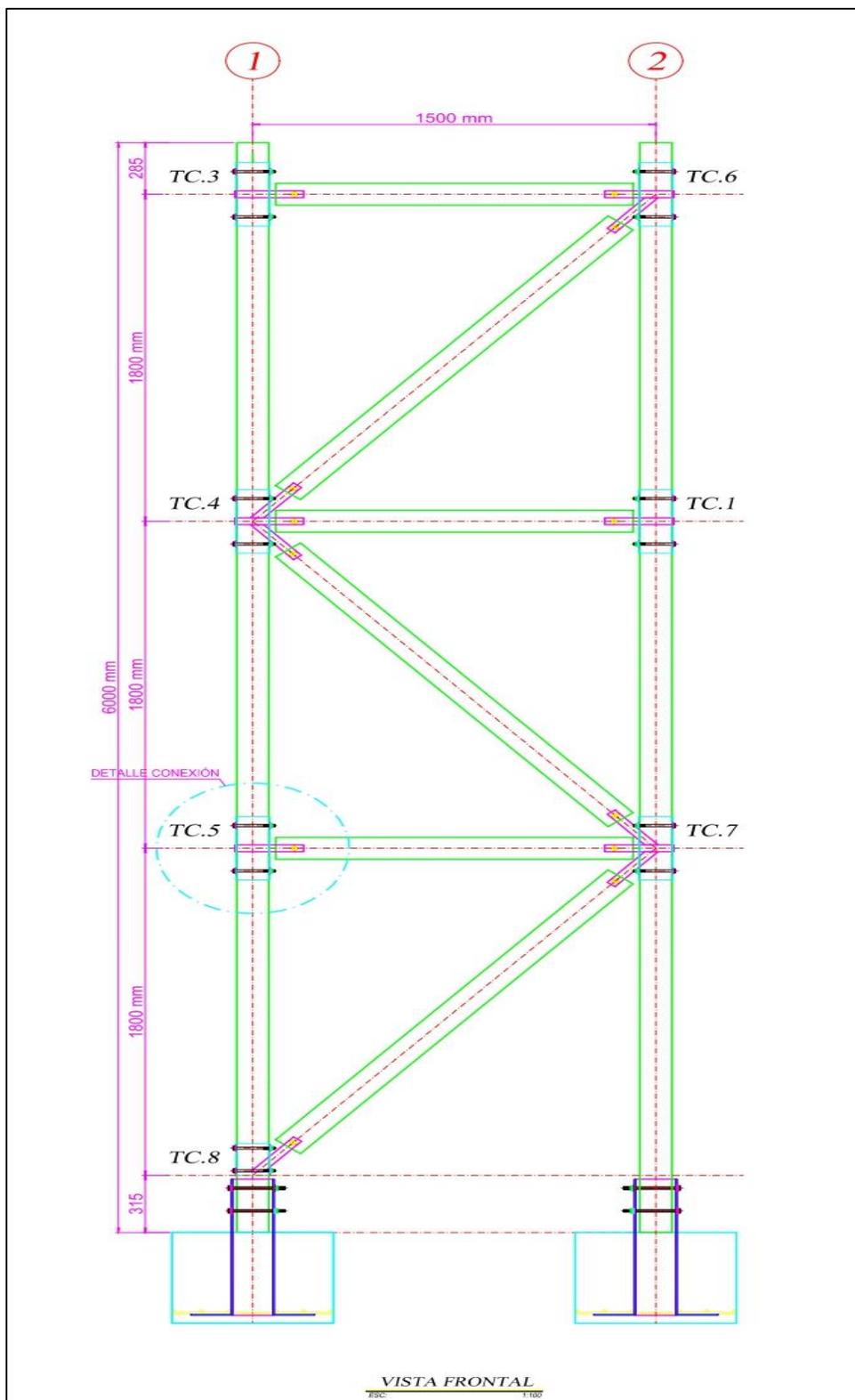
Por otro lado, se identificaron los elementos y componentes de unión usados en base a la investigación bibliográfica estableciendo parámetros y variables de operación de base de criterios. Una vez validada dicha operación con expertos y el apoyo de referentes bibliográficos se determinó específicamente el tipo de uniones a trabajar para justificar los criterios estructurales. En esta etapa se elaboró un prototipo con los materiales reales para ser evaluado, verificar sus dimensiones y determinar su comportamiento.

Tomando en cuenta que en la actualidad se puede recolectar el agua lluvia mediante torres con materiales alternativos, económicos y de manera sencilla se procedió a realizar el dimensionamiento de la estructura, tomando como fase inicial la cimentación de la misma, se optó por el diseño de cuatro plintos de 0.60 m de largo, por 0.60 m de ancho y 0.50 m de profundidad, cabe recalcar que se usó estas dimensiones menores a las recomendadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) debido a que al tener cargas muy pequeñas la estructura estaba sobredimensionada. Las dimensiones optadas de largo y ancho de la torre corresponden a 1.50 m x 1.50 m respectivamente, y a una altura de 2 metros colocar el siguiente piso tanto las cañas guadúas horizontales como las diagonales rigidizadoras como se muestra en la figura 39. En cuanto se refiere al diseño de las uniones de conexión se decidió utilizar tubo cuadrado A36 de 125mm x 125mm x 3 mm espesor, soldadas unas platinas diagonales y horizontales para que en dicha pieza se conecten cada una de las cañas y así obtener una torre de tres pisos de un total de 6 metros de altura.

Para la elección de los parámetros del viento, material, diámetro de la caña, dimensiones usadas, número de pisos, esfuerzo del suelo, módulo de elasticidad, carga viva, carga muerta, entre otros se tomaron como base de los registros de (Cruz, 2005) para ser utilizados en el software SAP 2000 herramienta fundamental del trabajo. Una vez obtenidos los resultados del programa se conocieron los momentos concentrados en cada una de las uniones y de esta manera se verificó la estabilidad de la estructura y se procedió a realizar el proceso constructivo de la torre atrapaniebla y a la colocación de la malla Rachell 50% sombra y el tanque recolector con la finalidad de recoger el agua lluvia proveniente de la zona (Figura 40).

Figura 40

Diseño final del dimensionamiento de la torre



Nota. La imagen muestra el diseño y dimensionamiento de la torre atrapaniebla.

Capítulo IV

Resultados y discusión

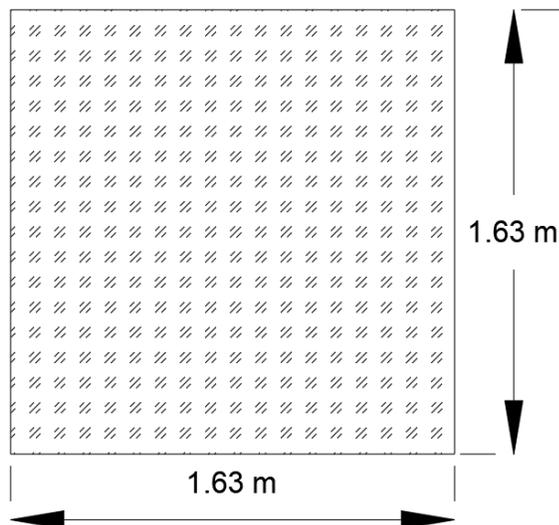
4.1. Cálculos previos

4.1.1. Malla del módulo del atrapaniebla

La malla Rachell se ubicará en la parte interior de cada uno de los módulos de la torre como se muestra en la Figura 41,42; hay que tomar en cuenta que la malla muestra una hendidura en cada uno de los lados y se considerará las paredes y el techo de la misma.

Figura 41

Cálculo de la malla para el techo de la torre



Nota. La imagen muestra el cálculo respectivo de la malla Rachell para el techo de la torre.

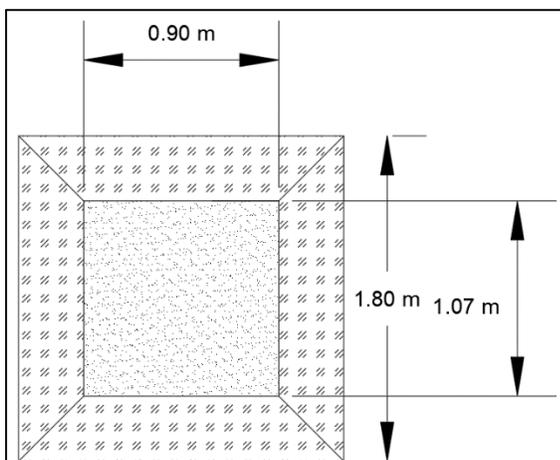
$$A = \text{base} * \text{altura}$$

$$A = 1.63 \text{ m} * 1.63 \text{ m}$$

$$A = 2.66 \text{ m}^2$$

Figura 42

Cálculo de la malla para las caras laterales del módulo



Nota. La imagen muestra el cálculo respectivo de la malla Rachell para las paredes

$$A \text{ trapecio} = \frac{(\text{Base mayor} + \text{base menor}) * \text{altura}}{2}$$

$$A = \frac{(1.80 + 1.07) * 0.30}{2}$$

$$A = 0.43 \text{ m}^2$$

$$A \text{ trapecios} = 0.43 * 4 \text{ caras} = 1.72 \text{ m}^2$$

$$A \text{ interna} = 0.90 * 0.73 = 0.657 \text{ m}^2$$

$$A \text{ módulo} = 1.72 + 0.657 = 2.377 \text{ m}^2$$

$$A \text{ por piso} = 2.377 * 4 \text{ caras} = 9.508 \text{ m}^2 \text{ (1 piso)}$$

$$A = 9.508 \text{ m}^2 * 2 = 19.016 \text{ m}^2 \text{ (2 pisos)}$$

$$\text{Área Total} = 2.66 \text{ m}^2 + 19.016 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Total} = 21.67 \text{ m}^2$$

4.1.2. Cálculo de los cimientos (Figura 43)

Donde:

$largo = 0.60 \text{ m}$

$ancho = 0.60 \text{ m}$

$profundidad = 0.50 \text{ m}$

$$V = l * a * h$$

$$V = 0.60 * 0.60 * 0.50$$

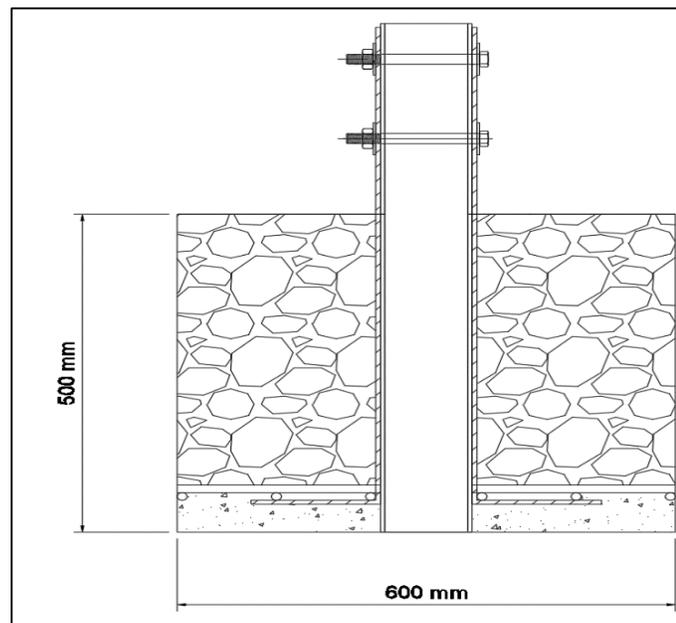
$$V = 0.18 \text{ m}^3$$

$$VT = 0.18 \text{ m}^3 * 4$$

$$VT = 0.72 \text{ m}^3$$

Figura 43

Cálculo del volumen del plinto



Nota. La imagen muestra el los detalles y dimensiones del plinto de la torre atrapaniebla.

4.1.3. Cálculo de las cañas guadúas

Donde:

$$\text{Largo de las cañas} = 6\text{ m}$$

Cálculo de cañas horizontales a usar en la torre:

$$\text{largo torre} = 1.50\text{ m}$$

$$\# \text{ cortes} = \frac{6}{1.50} = 4$$

$$\# \text{ cañas para las horizontales} = \frac{12}{4} = 3 \text{ cañas}$$

Cálculo de cañas verticales a usar en la torre:

$$\text{alto torre cada piso} = 1.8\text{ m}$$

$$\# \text{ cortes} = \frac{6}{1.8} = 3.33$$

$$\# \text{ cañas para las verticales} = \frac{12}{3.33} = 4 \text{ cañas}$$

Cálculo de cañas diagonales a usar en la torre:

$$\text{distancia diagonal} = 2.5\text{ m}$$

$$\# \text{ cortes} = \frac{6}{2.5} = 2.4 = 2$$

$$\# \text{ cañas para las verticales} = \frac{12}{2} = 6 \text{ cañas}$$

4.1.4. Cálculo del tubo cuadrado A36 125 mm x 125 mm x 3 mm espesor

$$\# \text{ nudos} = 15$$

$$\text{largo de la pieza} = 350\text{ mm}$$

$$\text{largo del tubo} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Material} = 15 * 350 \text{ mm} = 5250 \text{ mm}$$

$$\text{Material} = \frac{5250 \text{ mm}}{6000 \text{ mm}} = 0.875 \text{ mm}$$

$$\# \text{ tubos a comprar} = 1 \text{ tubo cuadrado de } 125 \text{ mm} \times 125 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$$

4.1.5. Cálculo de platinas de cimentación $1 \frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$

$$\text{largo de la platina} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Dimensión} = 750 \text{ mm largo} \times 150 \text{ mm pata}$$

$$\# \text{ platinas a usarse} = 8$$

$$\text{Material para el largo} = 8 * 750 \text{ mm} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Material para la pata} = 8 * 150 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Total material} = 6000 + 1200 \text{ mm} = 7200 \text{ mm}$$

$$\# \text{ platinas a comprar} = \frac{7200}{6000} = 1.2$$

$$\# \text{ platinas a comprar} = 2 \text{ platinas de } 1 \frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$$

4.1.6. Cálculo de platinas horizontales y diagonales

a) Platinas horizontales

$$\text{Material} = \text{Platina } 1 \frac{1}{2} \times \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$\text{Largo} = 200 \text{ mm}$$

$$4 \times 12 = 48 \text{ pedazos}$$

$$48 \times 200 = 9600 \text{ mm}$$

b) Platinas diagonales

$$\text{Material} = \text{Platina } 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{8} \text{ pulgadas}$$

$$\text{Largo} = 225 \text{ mm}$$

$$4 \times 12 = 48 \text{ pedazos}$$

$$48 \times 225 = 10800 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 9600 \text{ mm} + 10800 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 20400 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = \frac{20400}{6000}$$

$$\text{Total} = 3.4$$

$$\# \text{ platinas a comprar} = 4 \text{ platinas de } 1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{8}''$$

4.1.7. Cálculo de pernos

a) Pernos para la cimentación

$$\text{dimensión} = \frac{1}{2} \times 8 \text{ pulgadas}$$

$$\# \text{ pernos} = 8$$

$$\# \text{ arandelas planas} = 16$$

$$\# \text{ arandelas de presión} = 8$$

$$\# \text{ tuercas} = 8$$

b) Pernos para las uniones de la estructura

$$\text{dimensión} = \frac{1}{2} \times 7 \text{ pulgadas}$$

$$\text{pernos} = 82$$

$$\# \text{ arandelas planas} = 164$$

$$\# \text{ arandelas de presión} = 82$$

$$\# \text{ tuercas} = 82$$

4.1.8. Cálculo del hormigón

La relación 1:3:3 permite resistir una presión de 3000 psi aproximadamente la cual es utilizada en hormigones para estructuras en cimientos superficiales. Esta relación indica que por cada saco de cemento se debe colocar 3 carretillas de arena y 3 carretillas de ripio. Los valores se muestran en la figura 44.

Figura 44

Cálculo del hormigón

Cimiento	Relación	Resistencia	Cemento	Arena	Ripio	Piedra	Agua
		(Kg/cm ²)	kg	carretilla	carretilla	carretilla	m ³
Rectangular	1:3:3	210	150	6	6	4	0.14

Nota. La imagen muestra el cálculo respectivo del hormigón

4.2. Resultados del Viento

4.2.1. Velocidad mínima del viento

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (De & Construcción, 2015) establece que la velocidad mínima del viento corresponde a:

$$V \text{ mín} = 75 \text{ kph}$$

4.2.2. *Velocidad instantánea del viento*

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (De & Construcción, 2015) establece que el valor mínimo del viento corresponde a:

$$V \text{ mín} = 43 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

4.2.3. *Velocidad corregida del viento*

La velocidad instantánea máxima del viento se multiplicará por un coeficiente de corrección σ que depende de la altura y de las características topográficas o de edificación del entorno. (De & Construcción, 2015)

$$Vb = V * \sigma$$

$$Vb = 75 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 0.91$$

$$Vb = 18.958 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.2.4. *Presión del viento*

$$P = \frac{1}{2} * \rho * Vb^2 * C_e * C_f$$

Donde:

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ : Densidad el aire expresada en Kg/m³

C_e: Ceficiente de entorno – altura

C_f: Ceficiente de forma

$$P = \frac{1}{2} * 1.25 \frac{kg}{m^3} * 18.958^2 \frac{m}{s} * 1 * 1.3$$

$$P = 0.0298 \frac{Ton}{m^2}$$

4.2.5. Carga por viento en cada nudo

$$P1 = 2 * 0.75 * P$$

$$P1 = 2 * 0.75 * 29.8 \text{ kg}$$

$$P1 = 44.668 \text{ kg}$$

$$P2 = 1 * 0.75 * P$$

$$P2 = 1 * 0.75 * 29.8 \text{ kg}$$

$$P2 = 22.334 \text{ kg}$$

4.2.6. Carga muerta en cada nudo por el peso de la malla húmeda

$$P3 = 2m * 1.5m * 0.0025m * 1200 \frac{kg}{m^3}$$

$$P3 = 9 \text{ kg}$$

4.2.7. Carga viva en cada nudo por el peso de una persona

$$p4 = 70 \text{ kg}$$

4.3. Software utilizado

Para el presente trabajo se decidió usar el software SAP2000 herramienta estructural basado en el método de elementos finitos y especializada para el diseño, análisis y dimensionamiento de una estructura. En los anexos posteriores se indicará los pasos y resultados del análisis del trabajo de la torre atrapanieblas.

En primer lugar, se procedió al ingreso de datos en el programa tanto la sección del material, propiedades, entre otros como se muestra en el anexo 1,2,3. A continuación se procedió al ingreso de los datos referentes al material a usar en este caso la caña guadúa (Anexo 3), posterior a ello se consideró el ingreso de cargas, tipo de cargas y cargas combinadas (Anexos 4,5,6,7,8,9,10) respectivamente. Una vez colocados todos los datos necesarios se obtiene la estructura en 3D con la carga muerta y viva en cada uno de los niveles de la estructura como se muestra en los anexos 11,12 y 13.

En segundo lugar, se colocó la carga del viento en cada una de las direcciones tanto positivas como negativas como se muestra en el anexo 14,15,16. Es importante tener en cuenta los diagramas de fuerzas tanto de la carga muerta, viva y viento en cada una de las direcciones para conocer los nudos que registran mayor carga crítica como se muestra en los anexos 17,18,19,20,21 y 22. Finalmente se procede a combinar las cargas y obtuvimos los diagramas de fuerzas axiales de los mismos como se muestra en los anexos 23 y 24.

En cuanto se refiere a la parte de la cimentación se tomó en cuenta cuatro plintos y de igual manera se procedió a ingresar los datos correspondientes como se muestra en el anexo 25, y se obtiene cada uno de los plintos con sus respectivas fuerzas (Anexo 26). Adicional a ello es importante considerar la presión del suelo, en este caso la presión obtenida del cálculo nos dio un valor de 2,57 tf/m², es inferior a las 10 tf/m² que se considera como capacidad portante del suelo en el lugar del proyecto (Anexo 27).

Como última parte tenemos el cálculo de la armadura correspondiente en cada uno de los plintos, en este caso se colocará refuerzo horizontal y vertical con varilla de 12 mm como se muestra en el anexo 28,29.

En el anexo 30 se muestra la estructura final en un diseño en 3D obtenido del software SAP2000.

4.4. Proceso constructivo

Se tomó como punto de partida la construcción de los plintos de la torre atrapaniebla, para ello se realizó en primera instancia la excavación de los mismos tomando como base las dimensiones de 0.60 m de largo x 0.60 m de ancho y 0.50 m de profundidad como se muestra en la figura 45. Se procedió a armar la parrilla con la varilla corrugada 12 mm en base a las dimensiones del plano respectivo presentados en el Anexo 31, posterior a ello se colocó el replantillo en cada uno de los plintos a una distancia de 5 cm del nivel inferior del suelo, tomando en cuenta que las platinas de 1 ½" x ¼" de cimentación en forma de L de dimensiones 75 cm de largo y 15 cm de pata fueron soldadas al mismo y en medio de ellas se colocó el tubo PVC de 6 pulgadas como se muestra en la figura 45,46 con la finalidad de que las cañas verticales embonen en el tubo y así brinde mayor seguridad a la misma.

Figura 45

Excavación del suelo



Nota. La imagen muestra la excavación del plinto de 0.60 m * 0.60 m * 0.50 m

Figura 46

Colocación del tubo PVC y platinas en forma de L de 1 ½" x ¼"



Nota. La imagen muestra la nivelación del tubo PVC al momento de colocar sobre la parrilla.

Posterior a ello se procedió a realizar la mezcla de hormigón ciclópeo para el relleno de los plintos, aquí se consideró un 50% de piedra y 50% de la mezcla de cemento, arena y ripio respectivamente, es decir por cada cemento se usó 3 carretillas de ripio, 3 de arena y agua para tener una mezcla consistente como se muestra en la figura 47 y 48.

Figura 47

Mezcla del cemento, arena y ripio



Nota. La imagen muestra la mezcla del hormigón.

Figura 48

Colocación del agua en la mezcla



Nota. La imagen muestra la colocación de agua en la mezcla de cemento.

Finalmente se procedió al relleno de los plintos con hormigón ciclópeo tomando en cuenta la colocación previa de la piedra en un 50% como se muestra en la figura 49 y 50.

Figura 49

Colocación de la mezcla en los plintos.



Nota. La imagen muestra la colocación de la mezcla de hormigón

Figura 50*Fundición de los plintos*

Nota. La imagen muestra la fundición respectiva de los plintos.

Para realizar la fabricación de cada uno de los elementos metálicos que forman parte de la estructura diseñada para instalar el Atrapa nieblas se consideró los siguientes procesos:

Corte. - En orden secuencial se realizó el corte de las piezas metálicas que conforman los elementos metálicos de conexión, iniciando con los tubos cuadrados de 5" x 1/8" y posteriormente las platinas de 1 1/2" x 1/8", según medidas indicadas en los planos de taller. Para realizar los cortes se utilizó discos de corte de acero de 7" x 1/8" y para pulir las rebabas resultantes del corte se utilizó discos de desbaste de 7" x 1/4". (Figura 51,52)

Perforación. - para realizar la perforación de las piezas metálicas que conforman los elementos metálicos de conexión se utilizó brocas para acero de 5/8" x 6" (HHS). Las perforaciones se las realizó utilizando un taladro de banco con la finalidad mantener la concetricidad de las perforaciones en cada cara de los tubos cuadrados así como también en las platinas de conexión, siguiendo estrictamente las medidas indicadas en los planos de taller, para lo cual se utilizó una tolerancia mínima de más menos (+ - 1 mm). (Figura 53,54)

Armado.- Para realizar el armado de cada uno elementos metálicos de conexión que según planos de taller tienen los siguientes nombres: (TC.1, TC.2, TC.3, TC.4, TC.5, TC.6, TC.7, TC.8, TC.9) primeramente se realizó el trazado de los ejes de todos las piezas que componen cada elemento metálico de conexión, para lo cual se utilizó una tiza industrial para facilitar la visibilidad del operador, se verificó las medidas indicadas en los planos de taller y se procede unir las platinas de conexión al tubo cuadrado, para realizar esta operación se utilizó electrodo E-6011 de 3/32" como se muestra en la figura 55. Para que las perforaciones de las platinas de conexión resulten concéntricas se realizó una matriz postiza para utilizarla durante el proceso de armado. Esta matriz se utilizó tanta para las platinas de conexión horizontales y diagonales en todos los sentidos que indica el plano de taller.

Soldadura. - Una vez que todos los elementos metálicos de conexión están armados se procede a realizar el proceso de soldadura (Figura 56) para lo cual se utilizó electrodo E-7018 de 3/32", el cordón de soldadura debe ser continuo según NORMA AWS D1.1.

Pintura. - Para pulir y eliminar la escoria resultante del proceso de soldadura se utilizó discos de desbaste de 7" x 1/4". Para realizar la limpieza de los elementos metálicos de conexión se realizó los siguientes procesos:

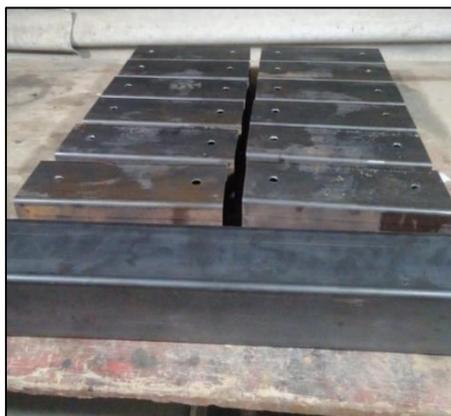
SSPC-SP-1 (Limpieza con Solventes) Preparación de superficie o limpieza utilizando solventes, vapor de agua, soluciones alcalinas, emulsiones jabonosas, detergentes y solventes orgánicos que remueven del sustrato contaminante como: grasa, aceite, polvo y sales solubles en el agente limpiador. La limpieza con solventes puede utilizarse antes de la aplicación de la pintura y en conjunto con otros métodos de preparación de superficie mecánicos para la eliminación de óxido, cascarilla de laminación, o pinturas.

SSPC-SP-3 (Limpieza con herramientas manuales mecánicas) Preparación de superficie o limpieza manual utilizando herramientas eléctricas con cepillos de cerdas metálicas trenzadas, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes.

Se aplicó una mano de Pintura anticorrosiva color GRIS MATE a 2 mils de espesor en seco, para proteger a los elementos metálicos de conexión de la oxidación debido a que estarán instalados en el exterior y expuestos a los elementos (Figura 57)

Figura 51

Corte de piezas del tubo cuadrado



Nota. La imagen muestra el corte de las piezas de metal.

Figura 52

Corte de platinas de 1 1/2" x 1/8"



Nota. La imagen muestra el corte de las platinas

Figura 53

Taladro de banco



Nota. La imagen muestra el taladro de banco realizando la perforación del tubo.

Figura 54

Broca de acero de 5/8"



Nota. La imagen muestra la broca de acero utilizada.

Figura 55

Armado de las piezas de metal



Nota. La imagen muestra el armado respectivo de las piezas.

Figura 56

Soldadura de las piezas de metal



Nota. La imagen muestra el armado respectivo de las piezas.

Figura 57

Pintada de las piezas



Nota. La imagen muestra el pintado con anticorrosivo plomo.

Por otro lado, para el montaje de la torre atrapaniebla se empezó armando los cuerpos de los andamios respectivamente, posterior a ello se introdujo las cuatro cañas verticales en los tubos PVC de la cimentación con una elección previa de las mismas es decir verificando que tengan una longitud similar y estén lo más rectas posibles como se muestra en la figura 58. Se inició con la medición respectiva desde el inicio de las platinas de cimentación hasta el eje de las piezas del primer piso, cada una de ellos se las introdujo por la parte superior de las cañas verticales de 6 metros, luego se procedió a

cortar la caña para usar en las horizontales y diagonales de la torre con las dimensiones del plano; se perforó las cañas con una broca para madera de 5/8 de pulgada y se colocó los pernos de 1/2 x 6 pulgadas, tomando en cuenta el detalle de las arandelas planas, la arandela de presión y finalmente la rosca como se muestra en la figura 59, 60 y 61. Para brindar mayor seguridad a cada una de las piezas se procedió a ajustar las tuercas con la llave # 19 una vez que se finalizó la colocación de los mismo.

Figura 58

Colocación de las cañas verticales



Nota. La imagen muestra la colocación de las cañas en sus plintos respectivos.

Figura 59

Corte de las cañas



Nota. La imagen muestra el proceso de corte de las cañas.

Figura 60

Perforación de las cañas con broca 5/8"



Nota. La imagen muestra el proceso de perforación.

Figura 61

Colocación de pernos de 1/2" x 7"



Nota. La imagen muestra la colocación de pernos en las uniones respectivas.

Este mismo procedimiento se realizó para los pisos superiores tomando en cuenta las dimensiones de eje a eje, el trazado, corte y perforación de las cañas y finalmente la colocación de los pernos en cada unión de conexión, cabe recalcar que lo más importante en esta etapa es verificar con el nivel que cada una de ellas se encuentren centradas perfectamente para que no exista problemas posteriores con la colocación de las cañas y ajuste de pernos como se muestra en la figura 62. Es importante mencionar que una vez que estemos a 1,80 m de altura es imprescindible el uso de arnés de seguridad como lo indican varios de los manuales con la finalidad de evitar accidentes o contratiempos.

Figura 62

Montaje del segundo piso de la torre



Nota. La imagen muestra la colocación de cañas del segundo piso.

Una vez finalizado todo el proceso constructivo se verificó las medidas, la nivelación de las cañas, y que cada uno de los pernos se encuentren con todas las rodeas y tuercas respectivas (Figura 63).

Figura 63

Colocación de la malla Rachell 50% sombra



Nota. La imagen muestra la colocación de la malla Rachell en la estructura.

Como último paso referente al proceso constructivo se procedió a la colocación de la malla Rachell 50% sombra desde la parte superior de la torre, colocando por el lado interior de cada una de las caras y el techo respectivamente, para ello se colocó un

alambre guía horizontal para luego cocer la malla en el mismo y poder templar y ajustar a las dimensiones de las caras respectivas, dándonos como resultado la figura 64.

Figura 64

Torre atrapaniebla



Nota. La imagen muestra la construcción final la torre atrapaniebla.

4.5. Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se tomó en cuenta los materiales usados en la construcción de la torre atrapaniebla, mano de obra y transporte respectivamente. A continuación, se detalla en la tabla 4.

Tabla 4

Presupuesto de la torre rectangular

CÓDIGO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO SIN IVA	PRECIO IVA 12%	PRECIO TOTAL
CAÑA GUADÚA							
1	Cañas guadúas 6 metros	m	14,00	\$7,50	\$105,00		\$105,00
2	Broca para madera 5/8 x 11	u	1,00	\$13,00	\$11,61	\$1,39	\$13,00
SUBTOTAL							\$118,00
CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA							
3	Cemento holcim 50 KG	saco	3,00	\$7,05	\$21,16	\$2,54	\$23,70
4	Cemento holcim 50 KG	saco	3,00	\$7,77	\$22,29	\$2,67	\$24,96
5	Polvo azul	carretilla	6,00	\$2,00	\$12,00	\$1,44	\$13,44
6	Ripio	carretilla	6,00	\$2,00	\$12,00	\$1,44	\$13,44
7	Piedra	carretilla	4,00	\$2,00	\$8,00	\$0,96	\$8,96
8	Varilla adelca 12 mm	u	2,00	\$12,08	\$24,16	\$2,90	\$27,06
9	costales	u	24,00	\$0,27	\$6,48	\$0,78	\$7,26
10	Alambre ADELCA #18	Kg	1,00	\$2,46	\$2,46	\$0,30	\$2,76
11	Tubo PVC RIVAL (6")		1,00	\$8,72	\$8,72	\$1,05	\$9,77
12	Suelda 60-11 x 1/8	lb	2,00	\$2,09	\$4,19	\$0,50	\$4,69
13	Broca acero 13 mm	u	3,00	\$3,53	\$10,58	\$1,27	\$11,85
14	Platina 1 1/2 '' x 1/4 ''	u	2,00	\$14,29	\$28,58	\$3,43	\$32,01

							SUBTOTAL	\$179,90
PIEZAS DE METAL								
15	Broca HSS DIN 16 1/2	u	1,00	\$14,64	\$14,64	\$1,76	\$16,40	
16	Electrodo 60- 11	u	5,00	\$5,34	\$26,70	\$3,20	\$29,90	
17	Broca metal 5/8 '' TRUPER	u	1,00	\$15,09	\$15,09	\$1,81	\$16,90	
18	Anticorrosivo gris mate	u	1,00	\$8,93	\$8,93	\$1,07	\$10,00	
19	Tiñer laca	u	1,00	\$9,74	\$9,74	\$1,17	\$10,90	
20	Envases tiñer	u	2,00	\$0,27	\$0,54	\$0,06	\$0,60	
21	Disco de corte 7 de 1/6	u	5,00	\$1,88	\$9,38	\$1,13	\$10,50	
22	Disco de corte 7 SIEA C/D	u	4,00	\$1,88	\$7,50	\$0,90	\$8,40	
							SUBTOTAL	\$103,61
ESTRUCTURA INTERNA								
23	Pernos 1/2 x 7 ''	u	90,00	\$0,95	\$85,50		\$85,50	
24	Malla rachell 50% sombra	m^2	10,00	\$0,76	\$7,59	\$0,91	\$8,50	
25	Lona impermeable camuflash	m^2	3,0	\$4,20	\$12,60	\$1,51	\$14,11	
							SUBTOTAL	\$108,11
TRANSPORTE Y MANO DE OBRA								
26	Mano de obra piezas cimentación	u	8,00	\$5,00			\$5,00	
27	Mano de obra piezas uniones acero	u	15,00	\$300,00			\$300,00	
28	Obra civil	diario	1,00	\$90,00			\$90,00	
29	Montaje	diario	1,00	\$70,00			\$70,00	
30	Transporte de cañas	viaje	1,00	\$15,00			\$15,00	

31	Transporte platinas	viaje	1,00	\$5,00	\$5,00
32	Transporte Material acero tubo	viaje	1,00	\$10,00	\$10,00
33	Alquiler andamios + tablones	diario	1,00	\$11,50	\$11,50
SUBTOTAL					\$495,00
TOTAL					\$1.004,62

Capítulo V

Conclusiones

- Se implementó la torre atrapaniebla rectangular en Conocoto cerca del Parque Metropolitano del Sur la misma que permitirá conocer el comportamiento y eficiencia de la recolección de las gotas de agua de niebla ya que las condiciones climáticas son las mejores del sector.
- El modelo rectangular y los materiales utilizados son los más recomendados ya que la caña guadúa en combinación con el acero trabajan de la mejor manera debido a sus propiedades brindando estabilidad de la estructura.
- En cuanto se refiere al presupuesto invertido en el presente proyecto se puede concluir que haciendo la relación costo – beneficio la reposición de la caña es a largo plazo, por lo cual el beneficio radica en que la torre es desarmable y por sus medidas capta mayor cantidad de agua.

Recomendaciones

- Es importante conocer el lugar previo a la construcción del proyecto, tomando en cuenta la accesibilidad, el material a usar, espacio del terreno y los servicios básicos con los que se cuenta.
- Se recomienda realizar los diseños de las torres atrapanieblas considerando la menor pérdida del material con la finalidad de reducir los costos y sobre todo tener en cuenta la altura de las cañas a fin de que no exista desperdicio.
- Para fijar las uniones de conexión se recomienda utilizar pernos con arandelas planas y una de presión puesto que ayudará a asegurar las uniones y evitará el aflojamiento de las tuercas.
- Es importante considerar que para realizar construcciones con este material alternativo como es la caña guadúa se debe adquirir el material previamente tratado para evitar en un futuro las plagas de insectos u hongos y así pueda durar más tiempo el material.
- Finalmente es recomendable realizar un mantenimiento luego de un tiempo considerable con la finalidad de alargar la vida útil del atrapaniebla.

Bibliografía

- Baquero Palacios, S. V., Delvasto Reyes, A. L., & Mejía Hoy, S. M. (2018). Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia. *INVENTUM*, 13(25). <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018.53-60>
- Barreto Castillo, W. M. (2003). Evaluación de guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano. *Instituto de Investigaciones Tecnológicas*.
- Burgos, G. P., Castañeda, Z. F., Mesías Pilco Parra, M. B. A., Sánchez, C. P. A. M. S., & Barberán, E. G. R. (1997). *Construcción de Viviendas con caña guadua en el Ecuador, una realidad amigable y sustentable*.
- Calderón, M., Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Pérez, L., & Ibáñez, M. (2010). Alto Patache fog oasis in the Atacama Desert: Geographical basis for a sustainable development program. *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 25–30.
- Carrera-Villacrés, D., Villacrés, J. L. C., Braun, T., Zhao, Z., Gómez, J., & Quinteros-Carabalí, J. (2020). Fog Harvesting and IoT based Environment Monitoring System at the Ilalo volcano in Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 407–412. <https://doi.org/10.18517/IJASEIT.10.1.10775>
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., De, J., & Rivera, D. (n.d.). *EditorEs*.
- Correal, J. F., Echeverry, J. S., Ramírez, F., & Yamín, L. E. (2014). Experimental evaluation of physical and mechanical properties of Glued Laminated Guadua angustifolia Kunth. *Construction and Building Materials*, 73, 105–112.
- De, N. E., & Construcción, L. A. (n.d.). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*. *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático - Buscar con Google*. (n.d.). Retrieved September 2, 2021, from [https://www.google.com/search?q=Diseño+e+implementación+de+torres+atrapanieblas+\(3d\)+y+ecosistema+informático+de+monitoreo+con+internet+de+las+cosas+y+aprendizaje+automático&oq=Diseño+e+implementación+de+torres+atrapanieblas+\(3d\)+y+ecosistema+informático+de+monitoreo+con+internet+de+las+cosas+y+aprendizaje+automático&aqs=chrome.0.69i59l2j69i60.759j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Diseño+e+implementación+de+torres+atrapanieblas+(3d)+y+ecosistema+informático+de+monitoreo+con+internet+de+las+cosas+y+aprendizaje+automático&oq=Diseño+e+implementación+de+torres+atrapanieblas+(3d)+y+ecosistema+informático+de+monitoreo+con+internet+de+las+cosas+y+aprendizaje+automático&aqs=chrome.0.69i59l2j69i60.759j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Domen, J. K., Stringfellow, W. T., Camarillo, M. K., & Gulati, S. (2014). Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(2), 235–249.
- Dos Anjos, N. D. F. R. (1998). Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean. *International Journal of Water Resources Development*, 14(3), 365–398.
- Dower, S. (2002). Clouds on tap: water supply. *SA Waterbulletin*, 28(4), 15–17.
- Duran, L. (2003). Estudio de Guadua laminada y su aplicacion al sistema tensegrity. *Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Tesis*.

- Echeverría, P., Domínguez, C., Villacís, M., & Violette, S. (2020). Fog harvesting potential for domestic rural use and irrigation in San Cristobal Island, Galapagos, Ecuador. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 46(2), 563–580.
<https://doi.org/10.18172/CIG.4382>
- Ecker, A. E., Glodal, A., Espejo Guasp, R., & Acosta, A. (n.d.). *Eva @Eition, Nater Balance & DepositiGn FOG COLLECTORS IN TROPICAL AREAS*.
- Escobar, C. M., Lopez, A., Aristizabal, H. F., & Molina, J. M. (2010). Operational fog collection and its role in environmental education and social reintegration: A case study in Columbia. *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection, and Dew*, 133.
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D., Fuentes, D., & Valdecantos, A. (2009). Prospective use of collected fog water in the restoration of degraded burned areas under dry Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11), 1896–1906.
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D., & Millán, M. M. (2008). Fog collection in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain). *Atmospheric Research*, 87(3–4), 324–337.
- Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., Gherezghiher, T., & Hurni, H. (2014). Fog-water collection for community use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 52–62.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.08.063>
- FogQuest. (2009). *FogQuest: Sustainable Water Solutions | Fog Collection | Rainwater Collection | Rural Water Projects*.
- Gioda, A., Guasp, R. E., & Baladón, A. A. (1993). Fog collectors in tropical areas. *Proceedings of the Symposium on Precipitation and Evaporation, Bratislava, Slovakia*, 20–24.
- Gómez García, A. J., & Quinteros Carabalí, J. A. (2020a). *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21785>
- Gómez García, A. J., & Quinteros Carabalí, J. A. (2020b). *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21785>
- Henderson, B., & Falk, D. (2001). Fog water collection in Ecuador: An appropriate technology for the rural poor. *Proceedings of the 2nd International Conference on Fog and Fog Collection*, 1520.
- INFLUENCE OF AGE AND HEIGHT POSITION ON COLOMBIAN GUADUA ANGUSTIFOLIA BAMBOO MECHANICAL PROPERTIES*. (n.d.). Retrieved September 1, 2021, from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2010000200005&script=sci_abstract
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020a). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. In *International Journal of Low-Carbon Technologies*

- (Vol. 15, Issue 2). <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020b). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(2), 253–276. <https://doi.org/10.1093/IJLCT/CTZ072>
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., & Olivier, J. (2012). Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives. *Ambio*, 41(3), 221–234.
- Larrain, H., Velásquez, F., Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Osses, P., & Schemenauer, R. S. (2002). Fog measurements at the site “Falda Verde” north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Atmospheric Research*, 64(1–4), 273–284.
- Lightfoot, D. R. (1996). The nature, history, and distribution of lithic mulch agriculture: an ancient technique of dryland agriculture. *The Agricultural History Review*, 206–222.
- Lopez, L. F., & Correal, J. F. (2009). Exploratory study of the glued laminated bamboo *Guadua angustifolia* as a structural material. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 11(3), 171–182.
- López, L. F., & Correal, J. F. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 11(3), 171–182. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2009000300001>
- MacQuarrie, K., Shrestha, Y., Schemenauer, R. S., Vitez, F., Kowalchuk, K., & Taylor, R. (2001). Results from a high elevation fog water supply project in Nepal. *Proceedings of 2nd International Conference on Fog and Fog Collection*, 227–229.
- Manual para la construcción sustentable con bambú*. (n.d.). Retrieved September 1, 2021, from www.conafor.gob.mx
- Marzol, M. V., Sánchez, J., Yanes, A., Derhem, A., & Bargach, J. (2010). Meteorological patterns and fog water in Morocco and the Canary Islands. *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 2530.
- Mauricio, W., & Castillo, B. (n.d.). *EVALUACIÓN DE GUADUA LAMINADA PEGADA APLICADA A PROPUESTA DE RETICULADO PLANO*.
- NaturPhilosophie. (2016). *The Fog Harvesters of Lima, Peru - NaturPhilosophie*.
- Nechifor, V., & Winning, M. (2018). Global economic and food security impacts of demand-driven water scarcity-alternative water management options for a thirsty world. *Water (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/w10101442>
- Olivier, J. (2002). Fog-water harvesting along the West Coast of South Africa: A feasibility study. *Water Sa*, 28(4), 349–360.
- Olivier, J. (2004). Fog harvesting: An alternative source of water supply on the West Coast of South Africa. In *GeoJournal* (Vol. 61, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/s10708-004-2889-y>
- Olivier, J., & De Rautenbach, C. J. (2002). The implementation of fog water collection systems in South Africa. *Atmospheric Research*, 64(1–4), 227–238.
- Olivier, J., & Van Heerden, J. (2002). Implementation of an operational prototype fog

- water collection system. *Water Research Commission Report, 902/1, 2.*
- Ramón Mercedes, J. (n.d.). *Guía Técnica Cultivo del Bambú Serie Recursos Naturales-Guía Técnica*. Retrieved September 2, 2021, from <http://www.cedaf.org.do>
- Rosato, M., Rojas, F., & Schemenauer, R. S. (2010). Not just beneficiaries: Fostering participation and local management capacity in the Tojquia fog-collection project, Guatemala. *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 2530.*
- Samuel, A. :, & García, M. (n.d.). *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL BAMBÚ COMO MATERIAL ESTRUCTURAL: GENERALIDADES, APLICACIONES Y MODELIZACIÓN DE UNA ESTRUCTURA TIPO. TRABAJO FIN DE GRADO* Licencia Creative Commons.
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1991). Fog-water collection in arid coastal locations. *Ambio, 303–308.*
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994a). A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, 33(11), 1313–1322.*
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (2011). Global Warming and the Third World. Fog Collection. *Tiempo Climate Cyber Library.*
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994b). Fog collection's role in water planning for developing countries. *Natural Resources Forum, 18(2), 91–100.*
- Schemenauer, R. S., Fuenzalida, H., & Cereceda, P. (1988). A neglected water resource: The Camanchaca of South America. *Bulletin of the American Meteorological Society, 69(2), 138–147.*
- Schemenauer, R. S., Osses, P., & Leibbrand, M. (2004). Fog collection evaluation and operational projects in the Hajja Governorate, Yemen. *Proceedings of the Third International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 1115.*
- Schemenauer, R. S., Rosato, M., & Carter Gamberini, M. V. (2007). Fog collection projects in Tojquia and La Ventosa, Guatemala. *4th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew.*
- Tandazo Regalado, J. E., & Flores Díaz, G. D. (2012). *Proceso de industrialización de la caña guadua como material alternativo para la construcción y diseño de vivienda tipo de una y dos plantas, empleando caña guadua en sus elementos estructurales.* <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/5892>
- Van Heerden, J., Olivier, J., & Van Schalkwyk, L. (2010). Fog Water Systems in South Africa: An Update. *5th International Conference on Fog, FOGDEW2010-79.*
- Villacrés, D. C., Carrera Villacrés, J. L., Braun, T., Zhao, Z., Gómez, J., & Carabalí, J. Q. (2020). Fog harvesting and IoT based environment monitoring system at the Ilalo Volcano in Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 10(1), 407–412.*
- Zea Dávila, P. R. (2013a). *Percepciones locales versus evidencia científica sobre la relación entre el bambú y el agua en el Cantón Bucay, Provincia del Guayas,*

Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3237>

Zea Dávila, P. R. (2013b). *Percepciones locales versus evidencia científica sobre la relación entre el bambú y el agua en el Cantón Bucay, Provincia del Guayas, Ecuador*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3237>

Anexos