



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE
BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Cristian Alfonso Escobar López

Asesorado por el Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE
BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Cristian Alfonso Escobar López

ASESORADO POR EL ING. JULIO OSWALDO ROJAS ARGUETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez
EXAMINADORA	Inga. Laura Geraldina García Alvarez
EXAMINADOR	Ing. Josué Giovanni Jocolt Quiñónez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 26 de julio de 2017.



Cristian Alfonso Escobar López

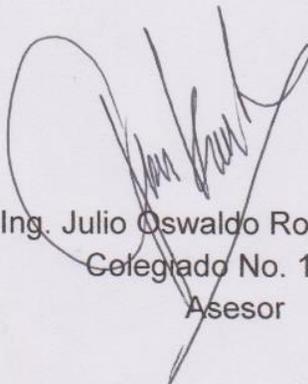
Guatemala, septiembre del 2018

Ingeniero
Juan José Peralta Dardón
Director
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería - USAC

Por este medio atentamente le informo que como asesor del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Industrial, **Cristian Alfonso Escobar López**, con carné: **201314417**, procedí a revisar el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

Al respecto quiero indicarle que luego de efectuadas las revisiones y correcciones del caso, encuentro satisfactorio el trabajo, por lo que procedo aprobarlo y remitirlo a usted para su trámite correspondiente.

Atentamente,



Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
Colegiado No. 10870
Asesor

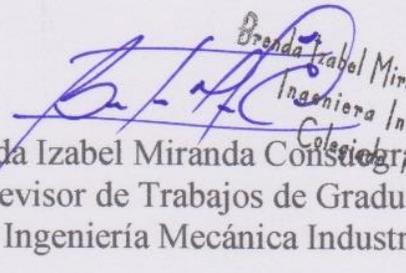
Julio O. Rojas Argueta
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 10,870



REF.REV.EMI.166.018

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Cristian Alfonso Escobar López**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Brenda Izabel Miranda Consuegra
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2018.

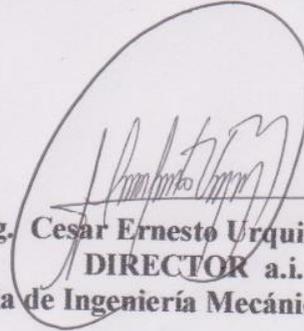
/mgp



REF.DIR.EMI.032.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Cristian Alfonso Escobar López**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

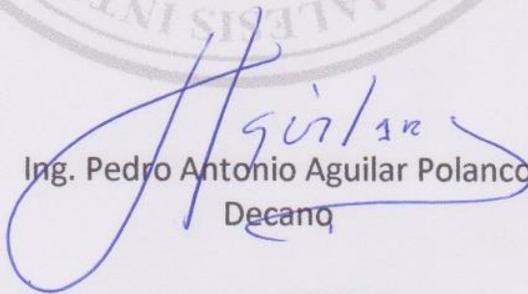


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG.100.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE BAMBÚ EN LA FINCA SABANA GRANDE DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Cristian Alfonso Escobar López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi mamá

Yuliza Lizeth López de Escobar, por ser una mujer excepcional, una madre ejemplar, por ser la voz que me inspiró siempre a dar lo mejor. Porque sin ella no lo hubiese logrado.

Mi papá

Adolfo Axcel Escobar López, por su apoyo incondicional durante todo este proceso, por ser siempre mi ejemplo a seguir.

Mis hermanos

Yulisa Lizeth y Alexander Adolfo Escobar López, por su paciencia y apoyo en todo momento.

Mis tíos, primos y demás familia

Por su confianza, apoyo y cariño.

Mis amigos

Carla Mazá, Eilym Jauregui, Edgar Vela, Thelmy Cruz y muchos otros que fueron parte importante en este logro. Sin ellos no hubiese sido lo mismo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de aprender en esta gran casa de estudios por el orgullo de ser sancarlista.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todos los conocimientos necesarios para formarme profesionalmente.
Mis padres	Por su amor, comprensión y formación; sobre todo por el apoyo incondicional y el ejemplo de lucha que me han dado. Gracias por ser la base donde se cimienta mi vida.
Embajada de China (Taiwán)	Por la colaboración y apoyo desinteresado en el desarrollo de este trabajo de graduación.
Ing. César Mazariegos	Por su amistad, apoyo, consejos y colaboración para alcanzar mi meta.
Ing. Julio Rojas	Por su valiosa colaboración y tiempo en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

1.1.4.	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).....	11
1.1.4.1.	Misión.....	11
1.1.4.2.	Visión.....	11
1.1.4.3.	Objetivos	12
1.1.4.4.	Organigrama	13
1.1.5.	Misión de la Embajada de China (Taiwán)	14
1.1.5.1.	Antecedentes	15
1.1.5.2.	Misión.....	15
1.1.5.3.	Visión.....	15
1.1.6.	Bambú en Guatemala	16
1.1.6.1.	Importancia del cultivo.....	16
1.1.6.2.	Especie de Bambú: Dendrocalamus Asper	17
1.1.6.3.	Cosecha	17
1.1.6.4.	Manejo postcosecha	18
1.1.7.	Proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”.....	23
1.1.7.1.	Antecedentes	23
1.1.7.2.	Justificación del proyecto	25
1.1.7.3.	Componentes del proyecto.....	26
2.	FUNDAMENTO TEÓRICO	31
2.1.	Localización industrial.....	31
2.1.1.	Métodos de localización	31
2.2.	Edificios industriales	32
2.2.1.	Techos industriales	34
2.2.2.	Ventilación industrial	36
2.2.3.	Pisos industriales	38

2.2.4.	Pintura industrial	39
2.2.5.	Iluminación industrial	41
2.2.6.	Control de ruidos	42
2.3.	Planeación de procesos	43
2.3.1.	Diagrama de operaciones.....	43
2.3.2.	Diagrama de flujo.....	43
2.3.3.	Diagrama de recorrido	44
2.4.	Distribución de planta.....	45
2.4.1.	Distribución según el producto.....	47
2.5.	Diseño de las áreas de trabajo.....	47
2.5.1.	Planeación de procesos	48
2.5.1.1.	Diagrama de operaciones.....	48
2.5.1.2.	Diagrama de flujo.....	48
2.5.2.	Maquinaria	49
2.5.3.	Área de trabajo	51
2.5.3.1.	Dimensiones	51
2.5.3.2.	Condiciones físicas	52
2.5.3.3.	Condiciones ambientales.....	52
2.5.3.4.	Finalidad de las áreas.....	53
3.	PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO	55
3.1.	Aspectos técnicos de la planta piloto	55
3.1.1.	Clase de edificio	59
3.1.2.	Tipo de techo	61
3.1.3.	Ventilación industrial.....	63
3.1.4.	Piso de la planta piloto.....	66
3.1.5.	Pintura industrial de la planta piloto	67
3.1.6.	Iluminación industrial de la planta piloto	67
3.1.7.	Control de ruidos en la planta piloto	68

3.1.8.	Servicios generales requeridos	68
3.1.8.1.	Agua potable	68
3.1.8.2.	Energía eléctrica	69
3.1.8.3.	Otros	69
3.2.	Análisis de los factores que afectan la distribución en planta.....	69
3.2.1.	El bambú como materia prima.....	70
3.2.2.	Maquinaria para procesar bambú.....	70
3.2.3.	Hombre.....	71
3.2.4.	Edificio.....	72
3.3.	Lugar de almacenamiento del bambú	73
3.3.1.	Postcosecha.....	73
3.3.2.	Bambú procesado	74
3.4.	Distribución final de la planta piloto.....	74
3.4.1.	Croquis de la planta piloto	75
4.	DISEÑO DE LAS ÁREAS DE TRABAJO	77
4.1.	Planeación de los procesos en la planta piloto	77
4.1.1.	Identificación de los procesos para transformar bambú	77
4.1.2.	Diagrama de operaciones para la transformación de bambú	85
4.1.3.	Diagrama de flujo de los procesos para transformar bambú	87
4.2.	Maquinaria propuesta	89
4.2.1.	Maquinaria necesaria para transformar bambú	89
4.2.2.	Secuencia de utilización de maquinaria	94
4.3.	Diseño de las áreas de trabajo	100
4.3.1.	Áreas a proponer.....	101

4.3.2.	Dimensiones	102
4.3.3.	Condiciones físicas	103
4.3.4.	Condiciones ambientales.....	104
4.3.5.	Selección de equipo a utilizar	105
4.4.	Finalidad de las áreas de trabajo propuestas.....	106
4.4.1.	Análisis del proceso del bambú dentro de cada área	106
4.4.2.	Asignación de tareas	107
4.5.	Distribución dentro de la planta	109
4.5.1.	Diagrama de posición de la maquinaria propuesta	109
4.5.2.	Croquis final de la distribución	112
4.5.3.	Diagrama de recorrido de los procesos de transformación de bambú	113
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA	115
5.1.	Seguimiento.....	115
5.1.1.	Formato de seguimiento	117
5.1.1.1.	Lista de chequeo	117
5.1.2.	Informes.....	118
5.1.3.	Auditorías.....	119
5.2.	Mejora de las operaciones	120
5.2.1.	Control del diseño de áreas de trabajo para el tratamiento de bambú.....	120
5.2.1.1.	Modelo de inspección en las áreas de trabajo.....	121
5.2.2.	Propuesta de capacitación al personal	121
5.3.	Control de mantenimiento de la planta piloto	122
5.3.1.	Estructura interna	122

5.3.2. Estructura externa 123

CONCLUSIONES..... 127

RECOMENDACIONES 131

BIBLIOGRAFÍA..... 133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).....	14
2.	Funcionamiento de un horno para bambú para ahumado	19
3.	Inmersión de culmos de <i>Dendrocalamus Asper</i> en agua salada	20
4.	Tratamiento de diesel a culmos de bambú de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i>	22
5.	Tratamiento con diesel a esterilla (paredes y cielo falso de bambú)..	23
6.	Diversificar y elevar producción de bambú en Guatemala	27
7.	Mejoramiento en el procesos de transformación.....	28
8.	Mejoramiento en la comercialización y mercado.....	29
9.	Proceso de investigación para mejoramiento de la industria	29
10.	Estructura tipo Joist.....	35
11.	Áreas para la construcción de la planta piloto.....	56
12.	Armadura tipo Howe	62
13.	Croquis completo de la planta piloto	75
14.	Diagrama de operaciones del laminado de bambú	86
15.	Diagrama de flujo de operaciones del laminado de bambú	88
16.	Diagrama hombre-máquina, tronzadora, latilladora y cepillado inicial.....	95
17.	Diagrama hombre-máquina, preservación y horno	96
18.	Diagrama hombre-máquina, aplicadora de adhesivos y prensa en caliente.....	98

19.	Diagrama hombre-máquina, canteadora y lijadora	99
20.	Diagrama de posición de la maquinaria.....	112
21.	Diagrama de recorrido del laminado de bambú	114

TABLAS

I.	Volumen de aire necesario por persona/hora/m3	37
II.	Renovación del aire en número de veces/hora.....	37
III.	Simbología utilizada en los diagramas de flujo	49
IV.	Localización: Evaluación por puntos.....	59
V.	Coeficiente de entrada de la ventana	64
VI.	Tiempos necesarios para producir 475 láminas de bambú.....	100
VII.	Dimensiones de la áreas de trabajo	102
VIII.	Número de trabajadores necesarios para el funcionamiento de la planta piloto.....	109
IX.	Estaciones necesarias para la transformación del bambú.....	111
X.	Cursograma analítico del proceso de transformación del bambú	113
XI.	Lista de chequeo: Aspectos técnicos de la planta piloto.....	118

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BMP	Bodega de materia prima
BPP	Bodega de producto en proceso
BPT	Bodega de producto terminado
dB	Decibeles
°C	Grados centígrados
H	Hora
Mpa	Mega pascales
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
()	Paréntesis
=	Signo igual

GLOSARIO

Culmo	Hace referencia al tallo de cualquier tipo de planta.
Cursograma	Herramienta que permite visualizar de forma gráfica los procesos o procedimientos para su análisis.
<i>Dendrocalamus asper</i>	Especie de bambú originaria de Asia que actualmente se encuentra en fase introductoria en Guatemala.
Led	Fuente de luz de gran resistencia que recibe una corriente eléctrica de muy baja intensidad.
Lux	Medida de intensidad lumínica del Sistema Internacional de Unidades que equivale a la iluminación que recibe una superficie normal y uniforme de flujo luminosa por metro cuadrado.
Rizoma	Tallo subterráneo de algunas plantas de donde generalmente crecen raíces y brotes.
Watt	Unidad de potencia eléctrica del Sistema Internacional de Unidades que mide la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.

RESUMEN

Dentro del proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala” se contempla la creación de una planta para procesar el bambú de 50 hectáreas que actualmente se encuentran en la Finca Sabana Grande de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Toda esta materia prima se pretende procesar a nivel industrial para obtener laminado de bambú con el apoyo de la Embajada de China (Taiwán).

En la presente investigación se plantean los aspectos técnicos a considerar para la construcción de una planta piloto capaz de tratar y procesar bambú, también el diseño de las distintas áreas que serán parte del proceso y que darán como resultados las dimensiones adecuadas de la planta. Se identifica el proceso a realizar y con base en las herramientas técnicas de ingeniería se presenta un diagrama de operaciones y un diagrama de recorrido, con los cuales se pretende explicar y analizar toda la transformación a lo largo de la planta, así como ubicar la maquinaria necesaria para laminar el bambú. Se analizan los factores principales que afectan la distribución en planta y se toman en cuenta para plantear la distribución final de la nave industrial.

También se realizó un pequeño análisis sobre la protección del personal y reducción de riesgos tomando en cuenta el manejo de la maquinaria y los desechos que el proceso genera para plantear el equipo de protección personal que se debe utilizar dentro de las instalaciones. Por último se plantean formatos de seguimiento y mejora para cuidar que los aspectos que en esta investigación se plantean se cumplan en el momento de la construcción y posterior funcionamiento.

OBJETIVOS

General

Diseñar una planta piloto para el tratamiento y procesamiento de bambú en la finca Sabana Grande de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Identificar los procesos industriales a realizar dentro de la planta piloto.
2. Proponer el tamaño adecuado de la planta piloto.
3. Determinar los aspectos técnicos para la creación de la planta piloto.
4. Crear las áreas de trabajo con base en la necesidad de los procesos para transformar bambú en la planta piloto.
5. Analizar los factores que afectan la distribución de la planta piloto.
6. Diseñar la distribución adecuada de las áreas de trabajo e identificar el equipo a utilizar.
7. Establecer la maquinaria necesaria para los procesos de transformación de bambú dentro de la planta piloto.

INTRODUCCIÓN

En la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER) de la Facultad de Agronomía se tiene un convenio con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) para la producción, investigación e industrialización de bambú, dentro del cual la Facultad de Agronomía tiene a su cargo el cuidado y manejo de 50 hectáreas de bambú (*Dendrocalamus Asper*). Esta especie de bambú es relativamente nueva en Guatemala y el clima del país es ideal para su cultivo. De esta especie se puede obtener materia prima de alta calidad para su laminado y posterior proceso, en este trabajo se propone el diseño de una planta a nivel piloto para procesar dicho bambú.

El primer capítulo contiene una breve historia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la Facultad de Agronomía, la finca Sabana Grande, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y la Misión de la Embajada de China (Taiwán), también se describe los aspectos importantes sobre el bambú, cosecha y postcosecha en específico de la especie *Dendrocalamus Asper* que será la materia prima para la planta y el proyecto “Industrialización del Bambú en Guatemala” del cual forma parte esta investigación.

En el segundo capítulo se presenta el fundamento teórico del análisis técnico, planeación de procesos, distribución en planta, diseño de las áreas de trabajo y maquinaria que se utilizará para diseñar la planta piloto. Este respaldará la propuesta del diseño de la nave industrial que posteriormente se describe.

En el tercer capítulo se describe el proceso de laminado de bambú, mostrando un diagrama de operaciones y un diagrama de flujo para su mejor comprensión así como también la maquinaria propuesta y ubicación de la misma. Se determinan las áreas necesarias, las consideraciones que estas deben tener para su correcto funcionamiento y se propone la distribución final de la planta piloto.

En el cuarto capítulo se especifica todo el análisis de la propuesta del diseño de la planta piloto, en donde se definirán los aspectos técnicos de la misma, los factores que afectan la distribución de las áreas de trabajo y las consideraciones del almacenamiento del bambú tanto luego de la cosecha como el procesado.

En el quinto capítulo se establece el seguimiento que se debe dar para el cumplimiento de los aspectos técnicos de la planta, la mejora de las operaciones mediante el control del diseño de las áreas de trabajo y una propuesta de mantenimiento para la estructura interna y externa de la nave industrial.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Generalidades

Para comenzar el estudio es necesario describir a las entidades que forman parte del proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”, así como dar una breve descripción de cómo se cultiva y maneja el bambú actualmente en el país.

1.1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la única universidad actualmente pública en Guatemala y goza de autonomía. Esto significa que es capaz de dirigir, organizar y desarrollar la educación profesional universitaria y difundir cultura según lo indica la Constitución Política de la República de Guatemala.

1.1.1.1. Misión

La misión de la Universidad de San Carlos de Guatemala se detalla en el artículo 2 y 3 del decreto número 325 ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala que literalmente dicen : “Artículo 2. Su fin fundamental es elevar el nivel espiritual de los habitantes de la República, conservando, promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico” y “Artículo 3. Contribuirá a la realización de la unión de Centro América, y para tal fin procurará el intercambio de maestros y estudiantes y todo cuanto tienda a la vinculación espiritual de los pueblos del Istmo”.¹

¹ USAC. *Misión y visión*. <http://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: 1 de agosto de 2018.

1.1.1.2. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con una cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social y humanista, con una gestión actualizada, dinámica y efectiva y con recursos óptimamente utilizados para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.²

1.1.1.3. Reseña histórica

El primer antecedente de la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala es la gestión del primer Obispo Licenciado Francisco Marroquín ante el Monarca Español en su carta de fecha 1º. de agosto de 1548, en la cual solicita la autorización para fundar una universidad en la Ciudad de Santiago de Guatemala, hoy Antigua Guatemala. En dicha misiva se apunta: “que se sienta un estudio a manera de Universidad en esta ciudad de Santiago de Guatemala que es la más a propósito de todas estas provincias, mayor y más abundante y de mejor temple para el estudio. Este remedio es fácil, el provecho no tiene precio. Como V.M. lo mande [...]”.

Posteriormente el Ayuntamiento de la Ciudad de Santiago de Guatemala, la Real Audiencia y varias de las Órdenes religiosas también enviaron similares peticiones: la necesidad de una institución de educación superior era evidente. Sin embargo, entre la primera solicitud y la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se establecieron Colegios de Artes, Teología y Filosofía.

El 5 de julio de 1673 se recibió la Real Cédula que ordenaba que se hiciese una Junta en la ciudad de Santiago de Guatemala, formada por el Presidente de la Real Audiencia, el Oidor y el Deán, para que analizaran las conveniencias o inconveniencias de la fundación de una universidad. Dicha Junta informó sobre la necesidad de contar con una institución universitaria, derivado de lo cual se funda la Universidad de San Carlos de Guatemala. En su orden de fundación es la cuarta del Continente Americano.

² USAC. Misión y Visión. <http://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: 1 de agosto de 2018.

- Fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala

El 31 de enero de 1676, el Monarca Español Carlos II promulgó la Real Cédula de Fundación de la Universidad, documento que llegó a Guatemala el 26 de octubre de 1676, lo que se tradujo en alegría y júbilo en el Reino de Guatemala. El Papa Inocencia XI emite la Bula Ex-Suprema el 18 de julio de 1687, en la cual se otorga a la Universidad de Guatemala el título de Pontificia, quedando en forma definitiva el nombre de Real y Pontificia Universidad de San Carlos, en honor a San Carlos de Borromeo, santo que dedicó su vida a la vocación de servicio comunitario.

Al final del Gobierno Conservador de Rafael Carrera, se le asignó a esta Universidad el nombre de Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo; sin embargo, fue durante este Gobierno en que egresaron los universitarios que impulsaron nuevamente el período liberal que triunfó el 30 de junio de 1871.

Miguel García Granados y Justo Rufino Barrios, representantes de los comerciantes y cafetaleros, respectivamente, fueron los líderes del movimiento denominado la Revolución Liberal de 1871. En el primer documento de Justo Rufino Barrios, denominado “El Acta de Patzicía”, se decreta que la instrucción primaria es laica, gratuita y obligatoria para toda la República de Guatemala.

En 1875, Justo Rufino Barrios, como Presidente de la República, emitió el Decreto denominado Ley Orgánica de la Instrucción Superior, suprimiendo la Pontificia Universidad de San Carlos de Guatemala y creándose la Universidad de Guatemala. Fue hasta 1927, bajo el gobierno de Lázaro Chacón, cuando la Universidad retoma su nombre de Universidad de San Carlos de Guatemala. Esta Universidad se integraba por las Facultades de Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales, Medicina y Farmacia, y de Ciencias Eclesiásticas. Se crea por primera vez el Consejo Superior Universitario, compuesto por el Rector, el Vicerrector y los Decanos de las Facultades. Esta institución pasaba a ser dependencia directa del Gobierno.

Esta situación continúa hasta 1877, cuando se dan una serie de reformas, como suprimir el Vicerrectorado. En 1882 se emite la “Ley Orgánica y Reglamentaria de Instrucción Pública”, siempre buscando una separación con la Iglesia Católica y regulando la formación profesional. Se separó la educación media o bachillerato de la Universidad, quedando a esta última los grados de Licenciado y Doctor. Se establecen las Facultades de Derecho y Notariado, Medicina y Farmacia, Ingeniería, Filosofía y Literatura. Posterior al Gobierno de Justo Rufino Barrios, los gobiernos de Manuel Lisandro Barillas (1885-1892) y de José María Reyna Barrios (1892-1898), no hicieron cambios substanciales al nivel universitario. En 1898 toma posesión de la Presidencia de la República Manuel Estrada Cabrera, quien permanece en el poder por 22 años. En este contexto, un nuevo actor surge con fuerza indómita: El movimiento estudiantil de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

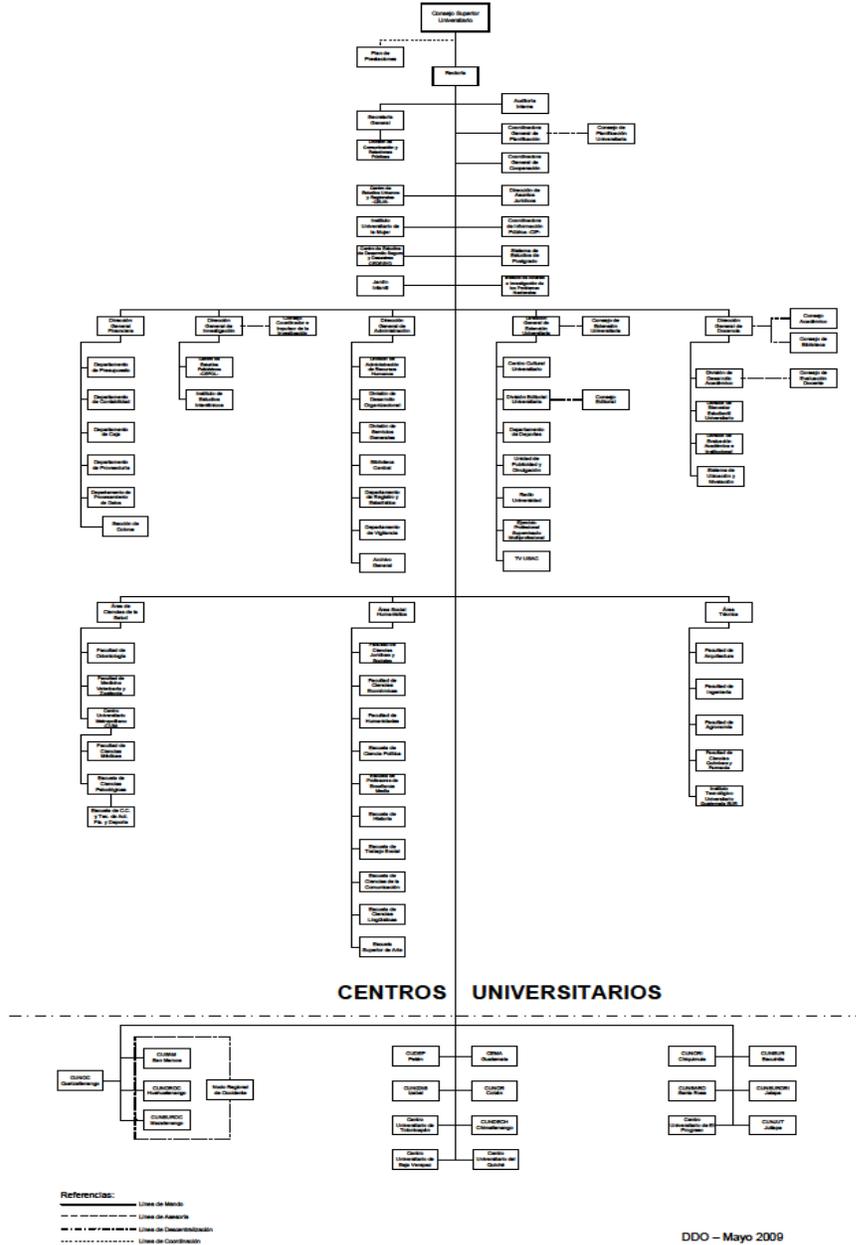
A lo largo de la historia universitaria el ejemplo de sus graduados en la vida pública y el ímpetu de los cambios mundiales fueron moldeando las valientes actitudes del movimiento estudiantil. En 1898 los movimientos de las Facultades de Ciencias Jurídicas y Sociales, así como las de Ciencias de la Salud, se unifican para organizar una serie de manifestaciones previo a la Semana Santa. Entre ellas surge un desfile bufo en contra de las injusticias y en pro de los desprotegidos que se llamó La Huelga de Dolores. Esta manifestación ha tenido como esencia luchar en contra de las tiranías, denunciar la ausencia democrática y reivindicar las causas más nobles del ser guatemalteco y restituir los valores de la justicia. Acompaña a este desfile un periódico sui generis que nace en la Facultad de la Salud, especialmente en la de Ciencias Médicas denominado No Nos Tientes, en alusión de que estudiantes de dicha casa de estudios recibían de las jóvenes mujeres este mensaje cuando las auscultaban anatómicamente.

La Universidad de San Carlos de Guatemala posee sus fundamentos históricos de similar naturaleza a las Universidades de Salamanca, Padua y Bolonia, que fueron constituidas en función de los estudiantes, a quienes se les motiva a participar en las decisiones del Gobierno Universitario y la educación que se imparte está orientada a generar sensibilidad hacia los acontecimientos políticos en general y apoyar los sectores desprotegidos de nuestra sociedad. De allí que en la Universidad de San Carlos de Guatemala el principal objetivo y motivo fundamental de su ejercicio es el estudiante.³

³ SAGASTUME GEMMELL, Marco Antonio. *Síntesis histórica de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 8.

1.1.1.4. Organigrama

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ORGANIGRAMA GENERAL



Fuente: USAC. *Organigrama*. <http://www.usac.edu.gt/organigrama.php>. Consulta: 1 de mayo de 2017.

1.1.2. Facultad de Agronomía

La Facultad de Agronomía es la encargada de impartir las carreras de Sistemas de Producción Agrícola, Recursos Naturales Renovables, Industrias Agropecuarias y Forestales y por último Gestión Ambiental Local, dentro del campus central y como parte principal del convenio entre la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Embajada de China (Taiwán) pone a disposición 50 hectáreas de la Finca Sabana Grande donde se cultivará el bambú de la especie *Dendrocalamus Asper*.

1.1.2.1. Historia

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) fue creada el 14 de junio de 1950, según acuerdo del Consejo Superior Universitario, presidido por el Rector Miguel Asturias Quiñónez. En uno de los considerando se indica que para propiciar el desarrollo socioeconómico de Guatemala “debe crearse una Facultad de Agronomía que contribuya a ampliar el cuadro de la enseñanza científica que por ahora imparte la Universidad y coloque a la nación en la posibilidad de aprovechar en mejor forma sus recursos naturales”.

La FAUSAC se fundó durante el período revolucionario de 1944-1954, en virtud de que en esa década, al impulsarse el desarrollo capitalista independiente, era necesario contar con agrónomos de educación superior, capaces de mejorar la producción agrícola y contribuir a la modernización de Guatemala. La Facultad empezó en una casa situada en la 5a. Calle, entre 1a y 2a. Avenidas de la zona 1. Sus primeros directivos y profesores fueron profesionales de diferentes carreras: médicos y cirujanos, ingenieros civiles, químicos farmacéuticos y biólogos.

La primera Junta Directiva fue integrada por el Ing. Alfredo Obiols, Decano; Ing. Carlos Quezada, Secretario; Ing. Enrique Luna, Vocal I; Ing. Francisco Villep, Vocal II. Los representantes estudiantiles fueron el capitán de caballería Mario Penagos y el Bachiller Otto Slowing. En 1952, por órdenes del Decano Obiols, la FAUSAC fue trasladada al Chalet Villa Ernestina, ubicado en la Reforma, Zona 9. En ese año eran aproximadamente 80 estudiantes, empero la necesidad de crear laboratorios y centros de prácticas agrícolas obligó a las autoridades a tramitar el traslado al campus universitario.

Ciudad Universitaria zona 12, proyecto del Rector Magnífico Carlos Martínez Durán, cobijó por primera vez a la FAUSAC en enero de 1954. Se le asignó el edificio que actualmente es sede del Centro de Lenguas (CALUSAC). Tiempo después, obligada por su crecimiento y el desarrollo científico tecnológico, Agronomía radica en los edificios T-8 y T-9, contando, además, con 18 hectáreas para prácticas agroforestales en el campus universitario y dos fincas para investigación y producción, una en Escuintla y la otra en Suchitepéquez. Los programas académicos de la FAUSAC han sido modificados en diferentes momentos, a fin de adecuarlos a los cambios del desarrollo mundial, nacional y de la unidad académica.⁴

1.1.2.2. Misión

“Formar profesionales con valores y conciencia social, que contribuyen al desarrollo sostenible del país, y al bienestar de sus habitantes a través de la generación y aplicación de conocimientos en la agricultura ampliada y ciencias ambientales.”⁵

1.1.2.3. Visión

“Ser líder en educación superior con excelencia académica y valores, en los campos de la agricultura ampliada y ciencias ambientales.”⁶

1.1.2.4. Valores y competencias

“Conjunto de normas de conducta que deben prevalecer en las acciones que ejecuta cada miembro de la Facultad de Agronomía, tanto de manera personal como institucional.”⁷

⁴ FAUSAC. *Historia*. http://fausac.gt/?page_id=52. Consulta: 1 de agosto de 2018.

⁵ FAUSAC. *Misión*. http://fausac.gt/?page_id=60. Consulta: 1 de agosto de 2018.

⁶ FAUSAC. *Visión*. http://fausac.gt/?page_id=51. Consulta: 1 de agosto de 2018.

⁷ FAUSAC. *Valores y Competencias*. http://fausac.gt/?page_id=71. Consulta: 1 de agosto de 2018.

- Ética: cumplimiento del conjunto de valores establecidos: justicia, responsabilidad, identidad, solidaridad y honestidad.
- Justicia: manifestar trato equitativo en la toma de decisiones.
- Responsabilidad: cumplimiento de las atribuciones y convicciones.
- Solidaridad: identificarse con los intereses institucionales y las necesidades sociales.
- Identidad: orgullo por ser parte de la institución.
- Honestidad: actuar en base a los valores establecidos.⁸

Competencias:

- Liderazgo: capacidad de motivar a otros a alcanzar objetivos comunes.
- Efectividad: alcanzar los objetivos comunes.
- Trabajo en equipo: capacidad de interactuar en forma conjunta con otros compañeros en el cumplimiento de los objetivos.
- Comprensión del entorno: conocimiento de la problemática nacional y participación activa en la solución de la misma.
- Calidad: cumplimiento de estándares a través de mejoramiento continuo.
- Responsabilidad Social: buscar que las soluciones a implementar sean de beneficio colectivo.⁹

1.1.2.5. Principios y objetivos

Principios:

- Ser un centro superior y avance de las ciencias agronómicas, propiciando el desarrollo de tecnología apropiada para el manejo y uso sostenible de los recursos naturales renovables y los sistemas de producción agrícola.
- Desarrollar las ciencias agronómicas: generando y promoviendo el conocimiento científico de procesos y fenómenos de la naturaleza y la sociedad, vinculados con el campo agronómico.
- Formar profesionales de excelencia académica.
- Orientar su acción a todos los sectores involucrados en los sistemas de producción agrícola y los recursos naturales renovables, contribuyendo a su desarrollo.

⁸ FAUSAC. *Valores y Competencias*. http://fausac.gt/?page_id=71. Consulta: 1 de agosto de 2018.

⁹ *Ibíd.*

- Vincularse con todos los sectores que participan en la agricultura, propiciando el trabajo conjunto con los productores, a fin de conocer su realidad y realizar aplicaciones prácticas de las ciencias agronómicas que permitan mejorar el manejo de los recursos naturales renovables y la producción agrícola en forma sostenible.
- Desarrollar todas sus acciones académicas y administrativas; de manera que se alcancen los objetivos y se optimice el uso de los recursos.¹⁰

Objetivos:

- Contribuir al desarrollo sostenible en la producción agrícola y en el manejo de los recursos naturales renovables del país, con la finalidad de elevar la calidad de vida de los guatemaltecos.
- Generar, conservar y divulgar conocimiento científico-tecnológico para el avance de la ciencia agronómica.
- Formar capital humano a nivel de educación superior universitaria en producción agrícola y en el manejo de recursos naturales renovables, obteniendo una formación profesional integral que le permita desempeñarse dentro de la sociedad con eficiencia, responsabilidad, ética y respeto a la naturaleza.
- Vincularse permanentemente con los sectores involucrados en la actividad agrícola y el manejo de los recursos naturales renovables, con el fin de contribuir al desarrollo de programas de trabajos nacionales e internacionales.¹¹

1.1.3. Finca Sabana Grande

Es propiedad de la Universidad de San Carlos de Guatemala y actualmente es administrada por la Facultad de Agronomía, es usada principalmente para realizar prácticas de las diferentes carreras que se ofrecen en la Facultad de Agronomía.

¹⁰ FAUSAC. *Principios y Objetivos*. http://fausac.gt/?page_id=71. Consulta: 1 de agosto de 2018.

¹¹ *Ibíd.*

1.1.3.1. Antecedentes de la finca

La finca Sabana Grande tiene una extensión de 221 hectáreas. Fue dada a la Universidad de San Carlos de Guatemala según acuerdo gubernativo número 1,696, folio 233, el libro número 27 del departamento de Escuintla con fecha 20 de junio de 1957, emitido por el Órgano del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (actualmente Ministerio de Finanzas Públicas) y pasó a formar parte de sus activos el día 11 de agosto de ese mismo año. Actualmente la finca Sabana Grande es administrada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.¹²

1.1.3.2. Ubicación geográfica y vías de acceso

La finca Sabana Grande se encuentra localizada en el departamento de Escuintla, en las coordenadas 14° 22'03'' Latitud Norte y 90°, 49 '48'' Longitud Oeste. Los límites de la finca Sabana Grande son: al Norte aldea El Rodeo y finca Tropicana; al Sur, finca Lorena; al Este; finca Alsacia y al Oeste, finca Magdalena.

La principal vía de acceso a la finca, es la carretera CA-2, se extiende al Sur pasando por los municipios de Villa Nueva, Amatitlán y la autopista Palín Escuintla, para luego tomar la carretera que conduce a la Antigua Guatemala.¹³

“Seguidamente se toma un camino de segunda categoría hasta el ingenio San Diego, el cual consta de 8 kilómetros. Por último se continua sobre la carretera CA-4, con un recorrido de 4 kilómetros hasta llegar a la finca, la cual dista por esta vía a 72 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala”.¹⁴

1.1.3.3. Relieve y fisiografía

“El relieve va de gradualmente ondulado a plano con pendientes que van de 0 al 3 %, la elevación promedio es de 770 msnm con un rango que va desde los 745 a 795 msnm. La finca se encuentra dentro de la región fisiográfica denominada Pendiente Volcánica Reciente”.¹⁵

¹² RAMOS SALGUERO, Carlos. *Diagnósticos y servicios en la finca Sabana Grande, El Rodeo Escuintla, con énfasis en la propuesta de riego por aspersión para caña de azúcar.* p.3

¹³ *Ibíd.*

¹⁴ *Ibíd.*

¹⁵ *Ibíd.*

1.1.4. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) es la institución del Estado encargada del rural del país, apoyar en materia jurídica, la transformación y modernización de la agricultura a nivel nacional, desarrollando capacidades productivas, organizativas y comerciales de los productores, para lograr la soberanía, seguridad alimentaria y la competitividad.

1.1.4.1. Misión

Somos una Institución del Estado, que fomenta el desarrollo rural integral a través de la transformación y modernización del sector agropecuario, forestal e hidrobiológico, desarrollando capacidades productivas, organizativas y comerciales para lograr la seguridad y soberanía alimentaria y competitividad con normas y regulaciones claras para el manejo de productos en el mercado nacional e internacional, garantizando la sostenibilidad de los recursos naturales.¹⁶

1.1.4.2. Visión

Ser una institución pública eficiente, eficaz y transparente que promueve el desarrollo sustentable y sostenible del sector, para que los productores agropecuarios, forestales e hidrobiológicos, obtengan un desarrollo rural integral a través del uso equitativo de los medios de producción y uso sostenible de los recursos naturales renovables, mejorando su calidad de vida, seguridad y soberanía alimentaria, y competitividad.¹⁷

¹⁶ MAGA. *Misión*. <http://web.maga.gob.gt/mision-y-vision/> Consulta: 1 de agosto de 2018.

¹⁷ MAGA. *Visión*. <http://web.maga.gob.gt/mision-y-vision/> Consulta: 1 de agosto de 2018.

1.1.4.3. Objetivos

Estratégicos:

- Generar, procesar y difundir información geográfica, cartográfica, de seguridad alimentaria y gestión de riesgo para la elaboración de planes de contingencia, la prevención y mitigación de daños causados por desastres naturales así como el registro y control de las Áreas de Reserva Territoriales del Estado.
- Implementar la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional, coordinando los programas y proyectos que coadyuven a mitigar los efectos de los desastres naturales recurrentes y crisis socio económica, mediante la dotación de alimentos; así como promover la producción necesaria para la población demandante y atendida.
- Promover la organización y capacidades comunitarias fomentando la producción, transformación y comercialización a través de proyectos productivos, reactivando la economía campesina y el aumento de la productividad, para alcanzar el desarrollo económico rural.
- Fortalecer el sistema financiero agrícola y rural, a través de la creación de mecanismos que incentiven las inversiones estratégicas en los territorios rurales.
- Administrar normas claras y estables para el aprovechamiento y uso sostenible del patrimonio productivo agropecuario, de los recursos naturales la inocuidad de los alimentos no procesados.
- Desarrollar capacidades que fortalezcan la institucionalidad en el campo agropecuario, fortaleciendo la organización, ampliando la cobertura de la extensión, capacitación, asistencia técnica y formación del recurso humano, así como la innovación tecnológica, con las herramientas metodológicas e instrumentales para la adecuación, según las zonas y condiciones de las unidades productivas.¹⁸

Operativos

- Fortalecer la planificación geográfica, cartográfica y control de las áreas de reserva que contribuyan a la gestión de riesgos, la disminución de la vulnerabilidad y la toma de decisiones.
- Velar porque la población vulnerable a la inseguridad alimentaria ocasionada por fenómenos económicos, sociales y naturales, sea asistida con la dotación de alimentos para reducir los riesgos y restablecer sus sistemas productivos.

¹⁸ MAGA. *Objetivos estratégicos*. <http://web.maga.gob.gt/download/obj-estra17.pdf>
Consulta: 1 de agosto de 2018.

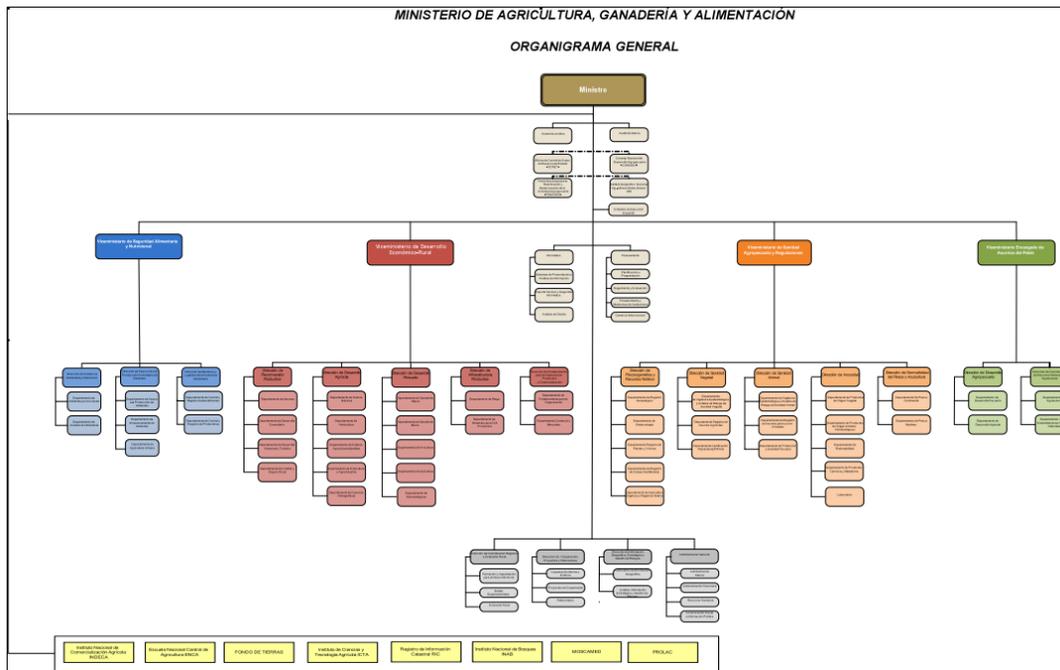
- Fortalecer capacidades técnicas y de organización social a comunidades y familias focalizadas en alta vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria, promoviendo la producción local de alimentos, para coadyuvar a la seguridad y soberanía alimentaria.
- En el marco de las políticas sectoriales, incentivar proyectos rurales de interés social, con la dotación de insumos, asistencia técnica, crédito y seguro rural, que incrementen la productividad y la competitividad en el mercado nacional e internacional.
- Impulsar programas y proyectos productivos, de granos básicos, hortalizas, hidrobiológicos y cultivos agroindustrializables, que impulsen fuentes de trabajo e inversión y dinamicen las economías rurales.
- Contribuir a mejorar el acceso de los pequeños y medianos productores incorporando nuevas hectáreas bajo riego, así como proyectos productivos a través del financiamiento, para incrementar la producción agrícola y mejorar las condiciones socioeconómicas de los beneficiarios.
- Mantener control y vigilancia sobre el estado sanitario del patrimonio productivo agropecuario e hidrobiológico.
- Brindar capacitación, asistencia técnica y transferencia de tecnología a la población rural, para que mejore sus capacidades productivas y educación formal en temas agropecuarios para orientar las acciones que coadyuven al desarrollo de las comunidades.”¹⁹

1.1.4.4. Organigrama

En la siguiente figura se muestra el organigrama del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

¹⁹ MAGA. *Objetivos operativos*. <http://web.maga.gob.gt/download/obj-estra17.pdf>
 Consulta: 1 de agosto de 2018.

Figura 1. **Organigrama Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)**



Fuente: MAGA. *Organigrama general*. web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/home/organigramamaga.pdf. Consulta: 1 de mayo de 2017.

1.1.5. Misión de la Embajada de China (Taiwán)

El principal objetivo de la Misión de la Embajada de China (Taiwán) es estrechar los vínculos de cooperación y comercio con Guatemala, así como atender consultas comerciales entre ambos países. Esto se logra a través de diferentes programas y convenios con varias entidades del Estado que promueven el desarrollo en el interior del país.

1.1.5.1. Antecedentes

Antes de 1935 la República de China y la República de Guatemala mantenían comunicación y relaciones entre sí. En ese año es cuando oficialmente se establece un Consulado General de la República de China en Guatemala. Más tarde, en 1954, el Consulado General se elevó al rango de Legación Diplomática, y a su vez ésta se elevó a la categoría de Embajada en octubre de 1960. El actual Embajador, Sr. John Lai, presentó sus cartas credenciales al Gobierno de Guatemala el 9 de octubre de 2015. La Embajadora de Guatemala ante la República de China (Taiwán), Olga María Aguja Zúñiga, presentó sus cartas credenciales al Gobierno de la República de China (Taiwán) el 17 de agosto de 2015.²⁰

1.1.5.2. Misión

“Buscar la integración social, económica y cultural de ambas naciones por medio de la gestión de diversas actividades para el beneficio de los guatemaltecos. La misión busca promover el interés de China (Taiwán) en Guatemala a través del contacto directo, encargo de donaciones y ayudas humanitarias”.²¹

1.1.5.3. Visión

“La Misión de la Embajada de China (Taiwán) tiene como principal función el fortalecimiento de las relaciones con Guatemala, es una organización dedicada a la ayuda humanitaria y principalmente orientada a crear una cultura de innovación y pensamiento tecnológico”.²²

²⁰ TAIWAN REPUBLIC OF CHINA. *Antecedentes*. https://www.taiwanembassy.org/gt_es/post/11.html. Consulta: 1 de agosto de 2018.

²¹ TAIWAN REPUBLIC OF CHINA. *Misión*. https://www.taiwanembassy.org/gt_es/post/12.html. Consulta: 1 de agosto de 2018.

²² TAIWAN REPUBLIC OF CHINA. *Visión*. https://www.taiwanembassy.org/gt_es/post/13.html. Consulta: 1 de agosto de 2018.

1.1.6. Bambú en Guatemala

El bambú en Guatemala se cosecha desde hace ya varios años, se ha convertido en una alternativa en el uso de madera gracias a su rápido crecimiento y resistencia a las plagas u hongos. Actualmente se utiliza en el país de forma artesanal para realizar sillas, mesas, lámparas, etc.

1.1.6.1. Importancia del cultivo

- **Importancia económica**

“Es de hacer notar la importancia económica que representa dicha planta como fuente de materia prima para la industria de muebles, pisos, artesanías, enseres del hogar, construcción de viviendas, invernaderos, muebles, ornato, alimento, puentes rurales, conducción de agua”.²³

- **Importancia social**

“Se estima que es una especie que satisface las más apremiantes necesidades de la población rural para hacer explotaciones de manera sostenible que contribuyan a mejorar la calidad de vida ayudando a reducir la pobreza en el país y en las regiones donde se establecerá el cultivo. El impacto social más notorio viene a darse en una mayor facilidad de la obtención de madera, la cual es más accesible y a un bajo costo”.²⁴

²³ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 2.

²⁴ *Ibíd.*

- Importancia ecológica

“No está de más mencionar el impacto ecológico como fuente conservacionista en los ecosistemas naturales, debido a su rápido crecimiento, fácil propagación, captura de bióxido de carbono, producción de oxígeno cuatro veces más que otras plantas, aspectos de gran importancia en la implementación del Protocolo de Kioto”.²⁵

1.1.6.2. Especie de Bambú: Dendrocalamus Asper

En esta especie, los tallos alcanzan de 20 a 39 metros de altura y un diámetro de 20 a 30 centímetros. Las paredes del tallo tipo tubular tienen un grosor de 0.5 a 2.0 centímetros. Los entrenudos distan de 30 a 45 centímetros, su rizoma es de tipo paquimorfo. Es una planta nativa de la India, Birmania y Tailandia, en nuestro país fue introducida y sembrada en la entrada del municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez, a la altura del kilómetro 121 de la ruta al entre los 200 y 600 metros sobre el nivel del mar. Los tallos pueden ser usados en la construcción de viviendas, puentes rurales, cercas, conducción de agua, muebles artesanías y otras industrias. Es ideal para hacer nuevos proyectos, tales como artículos laminados, arte de engomar, artículos comprimidos, revestimiento.²⁶

1.1.6.3. Cosecha

La época ideal para cosechar bambú para construcciones o para muebles es la época seca, ya que la emisión de brotes en esta época es baja y el contenido de humedad de los culmos también, esta inicia a los cuatro o cinco años de establecida la plantación, pero el tiempo óptimo es a los ocho años de edad de la plantación. Tomando en cuenta lo anterior hará que el transporte sea más fácil y así también se reduce la aparición de insectos y enfermedades.

²⁵VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. p. 3.

²⁶ *Ibíd.* p. 5.

Para cortar los culmos (tallos de bambú) se puede hacer con las siguientes herramientas: machete, sierra y moto sierra. Se debe tener cuidado en que el corte sea de 15 a 30 centímetros arriba del suelo y con la precaución de que el corte sea al ras en la parte superior del entrenudo, esto se hace para evitar la acumulación de agua en el entrenudo y la pudrición del rizoma. En el corte se debe tener cuidado de que todos los culmos presenten signos de madures adecuada como el color verde claro, presencia de manchas claras en las partes inferiores entre otras.²⁷

1.1.6.4. Manejo postcosecha

Para preservar las estructuras de bambú en óptimas condiciones se puede hacer por métodos químicos y no químicos.

- Método no químicos

Son utilizados bastante en el área rural, generalmente requieren poco esfuerzo y pueden ser implementados por campesinos y agricultores ya que no requieren de equipos especiales y dentro de ellos se tienen los siguientes:

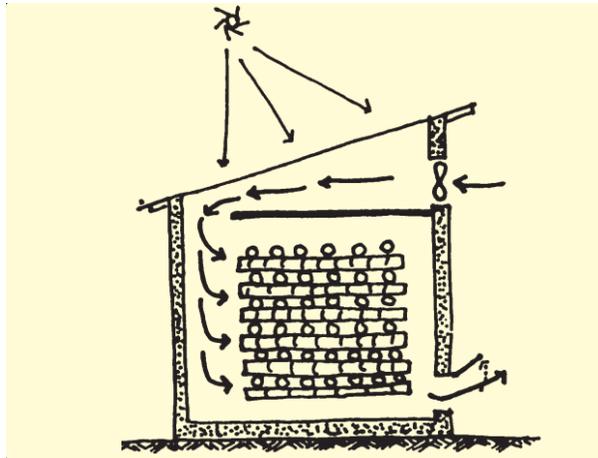
- Ahumado

Los culmos de bambú se almacenan en sitios cerrados expuestos al humo, lo cual ocasiona un cambio de coloración, con tendencia al color oscuro, durante este tratamiento algunas sustancias tóxicas se depositan en el interior del culmo y contribuyen a que adquiera alguna resistencia, el almidón depositado dentro de las células del parénquima pueden destruirse. En Japón los culmos de bambú se colocan en cámaras de temperatura de 120 a 150 grados centígrados, durante 20 minutos, lo cual se considera efectivo para la protección contra el ataque de insectos.²⁸

²⁷ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 40.

²⁸ *Ibíd.* p. 42.

Figura 2. **Funcionamiento de un horno para bambú para ahumado**



Fuente: VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala ICTA*. p. 42.

- Encalado

“Los culmos de bambú pueden ser pintados con cal, además del efecto ornamental del color blanco, se espera una prolongación de la vida útil del material, se reduce la absorción e agua con este tratamiento, lo que conlleva una mayor resistencia”.²⁹

- Inmersión en el mar

Este método es muy utilizado, principalmente en islas (Cuba y Filipinas). Los culmos frescos se colocan en agua salada que está estancada durante varias semanas, como la gravedad específica del bambú es menor a 1 se tienen que colocar piedras a los bambúes para mantenerlos sumergidos en el agua, durante la inmersión los almidones y azúcares de las células del parénquima son expulsados o degradados por bacterias, de allí que la resistencia contra los insectos se incrementa; este método no incrementa la durabilidad contra termitas y hongos y el agua estancada quizá tenga efectos negativos sobre la caña.³⁰

²⁹ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 43.

³⁰ *Ibíd.* p. 49.

Figura 3. **Inmersión de culmos de *Dendrocalamus Asper* en agua salada**



Fuente: VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala ICTA*. p. 43.

- **Método químico**

Estos métodos son generalmente más efectivos que los no químicos, pero no siempre son aplicables y económicos. Los preservantes no deben contener sustancias tóxicas para el hombre, ni para los animales, la solución de bórax y el ácido bórico en proporción 1:1 es muy efectiva y además es permitida a nivel internacional.

Los culmos no se deben pintar con brocha o con aerosol excepto, para propósitos profilácticos, brocha o el aerosol tienen efecto únicamente temporal debido a la muy baja penetración de los preservantes, utilizando estos materiales.³¹

³¹ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 45.

- Método de tanque abierto

Este tratamiento es económico y simple con un buen efecto protector, los culmos previamente redimensionados se sumergen en una solución de agua salada o algún preservante por varios días, la solución penetra al culmo a través de sus extremos y parcialmente hacia los lados por efecto de difusión.

Los bambúes en estado juvenil aceptan mejor este tratamiento que los adultos, este efecto está correlacionado con la lignificación del culmo, como la pared interna es más permeable que la externa, los culmos partidos son tratados más fácilmente que los culmos enteros, además el periodo de inmersión se reduce en 1/3-1/2 del tiempo.

La penetración y la absorción de agua y preservante es menor en los culmos recién cortados que en los culmos secos y aireados y la concentración del preservante debe ser mayor cuando se utilizan culmos frescos; en culmos secos la difusión en sentido apical es hasta 20 veces más que en sentido transversal, la difusión radial es ligeramente mejor que la difusión en sentido tangencial.

El tratamiento anterior utilizando además agua hirviendo, mejora significativamente la absorción, el tiempo del tratamiento se reduce considerablemente mediante el uso de la inmersión en caliente o el método de caliente frío.

Un doble tratamiento puede también ser exitoso aplicando una solución al 20% de sulfato de cobre y cromatos de zinc, seguido por el 20% de dicromato de sodio. La remoción mecánica de la piel puede acelerar la penetración especialmente cuando hay baja difusión del preservante.³²

- Método Bucherie

Este método es el más efectivo, debe realizarse con bambú fresco o recién cortado, consiste en forzar por gravedad o por presión neumática la penetración del preservante, sustituyendo la sábila dentro del culmo por dicho compuesto químico, el tratamiento se termina cuando la solución que sale al final del culmo indica que hay una concentración alta del preservante, la duración del tratamiento y la efectividad de este método depende principalmente de la especie de bambú, del contenido de humedad y del tipo de preservante utilizado, es un método eficiente, de fácil instalación y económicamente viable.³³

³² VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 45.

³³ *Ibíd.*

- Tratamiento con presión

“Se emplea en la industria de la madera, requiere del uso de autoclave, aplicando presión entre 0.5 y 1.5 N/mm², este método da los mejores resultados en cuanto la penetración del preservante pero necesita instalaciones especiales y costosas y no es muy económico para un material de bajo costo como el bambú”.³⁴

- Tratamiento con diesel

“Es muy bueno contra las polillas y otros insectos y consiste en aplicar diesel con brocha o con alguna otra herramienta a todos los cortes que tenga el bambú, con esta actividad los poros del bambú se sellan y cambian las propiedades de la fibra”.³⁵

Figura 4. **Tratamiento de diesel a culmos de bambú de la especie *Dendrocalamus Asper***



Fuente: VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala ICTA*. p. 46.

³⁴ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. p. 45.

³⁵ *Ibíd.*

Figura 5. **Tratamiento con diesel a esterilla (paredes y cielo falso de bambú)**



Fuente: VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala* ICTA. p. 46.

1.1.7. Proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”

Este proyecto se lleva a cabo entre la Universidad de San Carlos de Guatemala, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y la Misión de la Embajada de China (Taiwán) con el fin de impulsar la producción, transformación y comercialización a nivel industrial del bambú en el país.

1.1.7.1. Antecedentes

Guatemala está ubicada en una zona privilegiada tanto por su clima, como por la calidad de sus tierras para convertirse en un gran productor, consumidor y exportador de los diferentes tipos de bambú utilizados en la industrialización del género. Éste, por sus características de alta resistencia, flexibilidad, rápido crecimiento y excelente rendimiento, puede diversificar utilidades y convertirse en una fuente de ingresos importante como materia prima versátil.

El bambú puede utilizarse para la alimentación humana, construcción, fabricación de productos, artesanías y mobiliario, tejidos y conservación de los recursos naturales renovables: suelos y Agua. En el año 1950, se introdujeron a Guatemala siete especies de bambú. Estas fueron: *Bambusa textiles*, *Dendrocalamus Asper*, *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa venticillata*, *Guadua angustifolia*, *Phyllostachys bambusoides* y *Phyllostachys aurea*. Estas especies eran las de mayor valor por sus potenciales usos y por su capacidad de adaptación. Por lo tanto, la introducción tuvo como fin, el uso potencial del bambú en beneficio de las economías locales.

En julio de 1983, el Dr. Wui Chi Lin, experto taiwanés en bambú, realizó una visita al país para evaluar las especies existentes y así hacer recomendaciones para su óptimo aprovechamiento. Estas recomendaciones incluyen técnicas de propagación y transformación. Por ello, desde entonces se promovió la utilización de bambú. Posteriormente, con el fin de incrementar el cultivo con materiales de mayor utilidad e impulsar la diversificación en las industrias, se introdujeron tres especies más, desde Taiwán: *Bambusa dolichoclada*, *Dendrocalamus latiflorus* y *Phyllostachys makinoli hayata*.

Por solicitud del Gobierno de Guatemala, a partir de 1984, el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP) y la Misión Técnica de la República de China (Taiwán) (MITAC), iniciaron conjuntamente la ejecución del proyecto “Promoción del Cultivo del Bambú en Guatemala”.

La primera fase correspondió al establecimiento de las plantaciones con el material existente y las especies que se introdujeron, principalmente en Retalhuleu. Así mismo, se financió el establecimiento de viveros en los departamentos de Suchitepéquez, Baja Verapaz y Alta Verapaz, para poder abastecer a las personas e instituciones interesadas en material vegetativo.

Además se establecieron parcelas demostrativas en esos departamentos, donde se cultivan desde esa fecha, diferentes especies, incluyendo comestibles. Una segunda fase de la promoción del uso del bambú, se inició en 1988. En diferentes localidades del país, se impartieron cursos de capacitación sobre la fabricación de artesanías y muebles con bambú. Paralelamente, eventos de transferencia de tecnología se realizaron durante la segunda fase. Ocho personas se capacitaron en la especialidad de artesanías y cuatro en la especialidad de muebles, y fueron contratadas por el INTECAP, como instructores para capacitar en todo el país a diferentes grupos demandantes.

La Misión Técnica de la República de China (Misión Taiwán), apoyó la creación de talleres con carácter de escuelas y adquirió el compromiso de donar las herramientas, insumos y material vegetativo. En 1999 se inició una tercera fase del proyecto que consistió en la capacitación de personas en la construcción de viviendas de bambú, completando hasta la fecha, más de 900 personas capacitadas. A partir del año 2003, a petición del Gobierno de Guatemala y a través del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), la MITAC y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), iniciaron el “Proyecto: Desarrollo Integral del Cultivo del Bambú y sus diferentes usos.

Este se enfocó en el mejoramiento del cultivo de bambú, debido a que la cantidad que existía en el país no era suficiente para cubrir la demanda. Dicho proyecto tuvo como objetivo cubrir la demanda de cañas de bambú a través del fomento y extensión del cultivo para dar seguimiento a la actividad de construcción de viviendas e incentivar la industria de fabricación de muebles y artesanías.

El Gobierno de Taiwán entregó al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), las instalaciones y plantaciones de bambú establecidas en Cuyuta, Masagua, Escuintla en el mes de noviembre de 2012. Para darle continuidad a las diferentes actividades que se han realizado en Cuyuta, Masagua, Escuintla, se hizo necesario realizar un estudio de factibilidad legal, técnica, económica y financiera del Centro Educativo de Bambú para que ICTA asegurara la sostenibilidad del mismo.

Con el fin de ampliar las acciones de producción y transformación de bambú realizadas anteriormente, se implementará el proyecto: "Industrialización del Bambú", ayudando de esta manera al Gobierno de la República de Guatemala, a desarrollar una cadena de valor más completa en la industria del bambú.³⁶

1.1.7.2. Justificación del proyecto

Se fomentará el desarrollo del bambú en Guatemala, esto implica un fomento a la industria de muebles, al cultivo, a la capacitación de construcción de casas, de artesanías y al fomento de otros usos potenciales del bambú. Se desarrollará el interés de empresas nacionales a la transformación de bambú. El área de siembra de bambú se incrementará y su expansión geográfica dejará de ser lento. Nuevos productores se incorporarán a su cultivo y harán del mismo un negocio muy rentable.

Por lo anterior, durante eventos de desastres naturales como los terremotos, se dispondrá de una nueva y suficiente materia prima para la reconstrucción de viviendas. Los precios de los materiales serán cómodos y no importados. Esto le brindará al Estado y a los damnificados mejor capacidad de resarcirse de sus bienes económicos afectados. Además no se continuará con tala de árboles para extracción de madera para construcción y mueblería. No habrá más repercusiones sobre el cambio climático, ni avances de la frontera agrícola y la erosión de las zonas de ladera, así como la fragilidad a deslizamientos disminuirá. Los efectos del cambio climático serán menos severos ya que se continuará utilizando las cañas de plantaciones de bambú para obtención de materia prima, de tal manera que la tala creciente de árboles se detendrá.

A través de la implementación del proyecto, es importante recalcar los beneficios ambientales y socioeconómicos que éste tiene a su favor. Con el fomento de la Industria del Bambú, se logrará contrarrestar la deforestación, se garantiza mayor protección de los suelos y habrá recuperación de cobertura vegetal con el cultivo del bambú.

³⁶ Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p 5.

Así mismo, se tendrá un alto impacto a nivel económico. Se generarán empleos en las plantaciones. Se tiene un estimado de 500 jornales diarios para el mantenimiento de las plantaciones a establecer. Adicionalmente, se incentivará el desarrollo empresarial a través de la intervención y asesoría hacia artesanos, productores, fabricantes de mobiliario y de construcciones de diversas edificaciones.

Por otro lado, con las intervenciones por parte de la asesoría técnica de Taiwán, el objetivo del proyecto se hará realidad. Se recalca que este busca la incorporación e implementación de innovaciones tecnológicas y de gestión administrativa en las cuatro fases de la cadena productiva. El Proyecto de Industria del Bambú en Guatemala, beneficiará plenamente a la reforestación, ya que la siembra de bambú sustituye en gran parte el uso masivo de madera, reduciendo así la deforestación y ayudando a la conservación del medio ambiente.³⁷

1.1.7.3. Componentes del proyecto

“El desarrollo del proyecto a lo largo de los cinco años, enfocará sus planes de acción a través de cuatro componentes principales que a continuación se describen”.³⁸

- Producción

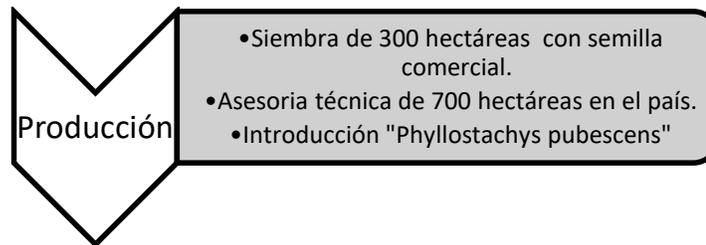
“Esta etapa del proyecto abarca los primeros cuatro años de desarrollo. Busca diversificar y elevar la producción del bambú en Guatemala y así poder fomentar y mejorar el desarrollo económico local”.³⁹

³⁷ Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p 7.

³⁸ *Ibíd.* p 8.

³⁹ *Ibíd.*

Figura 6. **Diversificar y elevar producción de bambú en Guatemala**



Fuete: Proyecto "Industrialización del bambú en Guatemala". p. 8

“El componente de producción se desarrollará a lo largo de los cinco años del proyecto pero, principalmente en los primeros cuatro. Las actividades y asesorías técnicas permitirán mejorar el manejo y los procedimientos de cultivo del bambú e intensificar sus múltiples beneficios y ventaja económica”.⁴⁰

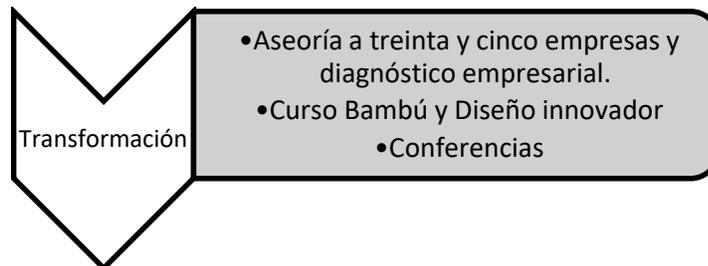
- Transformación

“En este componente se busca brindar la asesoría en términos de transformación y diversificación de conocimientos, productos y técnicas a nivel empresarial y personas interesadas en el tema del bambú”.⁴¹

⁴⁰ Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p 9.

⁴¹ *Ibíd.*

Figura 7. **Mejoramiento en el procesos de transformación**



Fuete: Proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”. p. 9

“Por medio de las asesorías técnicas a empresas, en diferentes campos profesionales, se logrará mejorar las condiciones de transformación y se brindará nuevas soluciones para vincularlos e implementarlos en un mercado competitivo y de muchas oportunidades de desarrollo económico en Guatemala”.⁴²

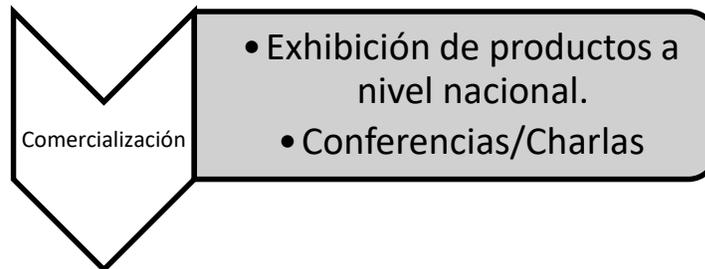
- **Comercialización**

En este componente del proyecto, se busca a través de exposiciones y seminarios, dar a conocer las empresas dedicadas a la comercialización de materia prima y productos, con el fin de implementarlos y vincularlos al mercado nacional. A través de asesorías y charlas podrán conocer mejores técnicas para gestión y administración de las empresas y estrategia para posicionamiento en el mercado.⁴³

⁴² Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p 10.

⁴³ *Ibíd.*

Figura 8. **Mejoramiento en la comercialización y mercado**

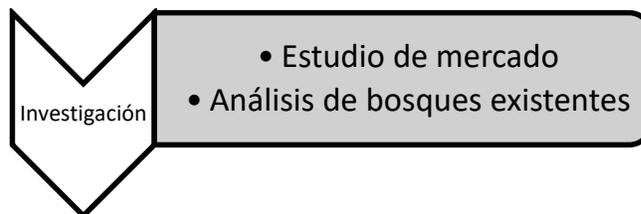


Fuete: Proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”. p. 10

- Investigación

“En este componente se busca promover proyectos de investigación a nivel nacional y empresarial, que permitan brindar referencias necesarias para las personas y empresas interesadas, y poder guiar sus estrategias de venta, comercialización y de producción del cultivo hacia parámetros adecuados y aptos para un desarrollo exitoso”.⁴⁴

Figura 9. **Proceso de investigación para mejoramiento de la industria**



Fuete: Proyecto “Industrialización del bambú en Guatemala”. p. 10.

⁴⁴ Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p 10.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Localización industrial

El proceso de ubicar una planta nueva o trasladar una planta en operación, es hoy en día un proceso complejo pues con frecuencia existen problemas de saturación de espacios, falta de aprovisionamiento de servicios como agua, energía, combustible, etc., regularmente ocurre este tipo de problemas debido a la falta de planificación inicial de las operaciones así como el crecimiento desmedido de la empresa.

2.1.1. Métodos de localización

- Método de evaluación por puntos

Consiste en determinar los principales factores para la localización industrial y compararlos, analizando y ponderando cada factor con un punteo de 1-10, dependiendo de cuanto logra satisfacer las necesidades de la nueva planta o industrial.

Para lograr una evaluación correcta se debe aplicar el siguiente procedimiento para jerarquizar los factores:

1. Crear una lista de factores relevantes.
2. Asignar un peso a cada factor que indique la importancia relativa (la suma de los pesos debe ser 1,00), y el peso asignado dependerá del evaluador.
3. Dar una escala común a cada uno de los factores (por ejemplo, de 0 a 100), y calificar cada factor de acuerdo con la escala designada y multiplicar la calificación por el peso.
4. Sumar la cantidad de cada alternativa y elegir la máxima puntuación.⁴⁵

⁴⁵ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 47.

2.2. Edificios industriales

Son construcciones industriales diseñadas para satisfacer las necesidades de la industrial, tomando en cuenta las áreas productivas necesarias para su funcionamiento. La ejecución de la construcción debe ser diseñada de manera integral, tanto por el propietario, el Ingeniero Industrial y el Ingeniero Civil, esto con el objetivo de lograr una correcta distribución de las áreas de trabajo y reducir los costos.

Para el diseño de la planta industrial, el manejo de materiales juega un papel importante debido a que en el diseño deberá tenerse especial cuidado ya que si este factor no se toma en cuenta se transformará en un costo más adelante. Además es importante conocer la maquinaria que será utilizada dentro de la planta ya que es se consideran espacios necesarios para su operación, inspección y mantenimiento; la distribución de la maquinaria es vital ya que en ello se basa el flujo adecuado de materiales.⁴⁶

- Tipos de edificios
 - Edificios de primera categoría

Se caracterizan por estar formados por marcos rígidos de concreto armado y relleno de hormigón, transmitiendo la carga hacia las zapatas del mismo material. Los techos y entrepisos de este tipo de edificios suelen ser de hormigón armado. Los muros exteriores pueden ser de ladrillo de barro de superficie liza o de bloque de piedra pómez y cemento, las que por lo general no reciben cargas externas.

Ventajas:

1. Alta vida de operación.
2. Incombustibles por naturaleza.
3. Proporcionan bienestar y comodidad al personal que labora dentro de ellos.
4. Soportan grandes cargas.
5. Se pueden diseñar para soportar otro nivel, en caso sea necesaria la expansión en el futuro.⁴⁷

⁴⁶ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 61.

⁴⁷ *Ibíd.* p. 63.

- Edificios de segunda categoría

En este tipo de edificios es común encontrar acero estructural con una combinación de concreto armado en cantidades menores ya que el concreto armado servirá de apoyo a las columnas de acero y a los tabiques de relleno, mientras la cubierta superior de estos edificios puede ser de lámina de zinc, de aluzinc, de asbesto cemento, o en algunas secciones de losa de concreto armado.

Los pisos para el área de producción son de concreto armado sin pulir, su resistencia y tipo están en función del proceso de producción, mientras que para el área de oficinas generalmente son de piso de cemento líquido o granito. También en algunas divisiones se puede encontrar paredes prefabricadas.⁴⁸

Ventajas

1. Las cargas que soportan pueden ser altas.
2. Son amplios en su interior y eso hace que se adapten a procesos industriales pesados.
3. Los costos en demolición son bajos permitiendo que los cambios en la instalación resulten económicos.
4. Por ser del tipo prefabricado sus elementos principales, pueden ser vendidos en algún momento.⁴⁹

- Edificios de tercera categoría

Para este tipo de edificios el material más utilizado es la madera, aunque los cimientos son como los anteriores, de hormigón armado. La cubierta superior suele ser de lámina de zinc y en algunos casos de lámina ondulada de cartón impermeable. Sus pisos son de hormigón rústico. Estos edificios por lo general están conformados por una sola planta, la cual está destinada al área de producción y dentro de la misma se destina un lugar para una pequeña oficina.⁵⁰

⁴⁸ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 63.

⁴⁹ *Ibíd.*

⁵⁰ *Ibíd.* p. 65.

Ventajas

1. Su costo de construcción es el más bajo de los tres.
2. Son fáciles de montar y desmontar, ya que las uniones son con clavos o tornillos.
3. Las cimentaciones son sencillas y no requieren precisión o de cálculo.
4. Son estructuras que pueden ser modificadas con facilidad y a bajo costo.
5. Generalmente el área ocupada por este tipo de construcciones es pequeña.”⁵¹

2.2.1. Techos industriales

Los techos industriales además de proteger del clima también deben proporcionar condiciones ergonómicas a los empleados dependiendo del proceso industrial a realizar dentro del edificio. El proceso o tipo de industria determinará la forma y materiales a utilizar para el techo. Un techo con una inclinación mayor del 2% no estará sujeto al tránsito de personas y su principal funcionalidad será la de proteger a todo aquello que se encuentre dentro de la nave industrial de los factores climatológicos, agentes contaminantes, etc. Los factores determinantes de un techo son: impermeabilidad, duración, seguridad, pendientes, aislación térmica, aislación acústica y tienen dos elementos básicos: cubierta y estructura.⁵²

- Estructura o armazón

Es el alma del edificio, ya que en ella se fijarán las cubiertas a utilizar que protegerán los diferentes ambientes de la fábrica. Es a esta armazón a la que se fijarán las cubiertas utilizando tornillos, pernos u otros dispositivos para conseguir el propósito de sostener las cubiertas.

Existen diferentes tipos de estructuras pero el más utilizado es el llamado tipo JOIST, el cual consiste en amarrar dos vigas metálicas principales, con amarres secundarios entre las vigas con el propósito de compartir las fuerzas a que son sometidas, logrando con esto una mejor resistencia a las fuerzas de compresión.⁵³

⁵¹ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 65.

⁵² *Ibíd.* p. 67.

⁵³ *Ibíd.*

Figura 10. Estructura tipo Joist



Fuente: TIMETOAS. *Estructura Joist*. www.timetoast.com/timelines/steel-joist. Consulta: 20 de agosto de 2018.

- Tipos de cubierta

En función de la forma de la cubierta que se emplea en los edificios se pueden clasificar de la siguiente manera:

- “Cubiertas planas o losas de concreto: No es muy usado en las naves industriales ya que su costo es muy elevado”.⁵⁴
- “Cubiertas con pendientes: Son todas aquellas cubiertas con pendiente mayor al dos por ciento con respecto a la horizontal”.⁵⁵
- Cubiertas curvas: Son todas aquellas cubiertas con pendientes variables”.⁵⁶

Los materiales más comunes para las cubiertas son: lámina de zinc, lámina de aluzinc y lámina de asbesto cemento.

⁵⁴ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 67.

⁵⁵ *Ibíd.*

⁵⁶ *Ibíd.*

- Techo de dos aguas

Una de las principales ventajas de este tipo de techo es que puede ser usado en naves altas dando la oportunidad de formas entrepisos dentro del área de la nave, por su forma además se pueden agregar luminarias, lo que favorece la iluminación, así como también se pueden colocar ventiladores, lo que favorece la ventilación. Su instalación es rápida y desmontable, pudiéndose usar en otros lugares, pero es necesario implantar un programa de mantenimiento preventivo a las estructuras. La lámina de zinc o asbesto no favorece el aislamiento térmico y ambas deben ser pernadas para su fijación, por lo tanto puede existir corrosión galvánica.⁵⁷

2.2.2. Ventilación industrial

En todas las industrias debe existir una ventilación adecuada ya que el aire que se respira dentro de la nave industrial debe ser de calidad para no afectar la salud humana. “La calidad del aire está determinada simplemente por la concentración de agentes contaminantes, tales como polvo, humos, detergentes, gases, vapores, disipadores de calor, hornos, secadores, calderas, etc”.⁵⁸

Además de proporcionar aire fresco al interior del edificio, reemplaza el aire caliente del interior junto con el calor generado y efectúa un balance térmico ya que la cantidad de calor desplazado por el aire fresco es igual al calor ganado en el edificio, menos el calor irradiado en el mismo y así mantener la temperatura interior constante. La renovación del aire dentro de una nave industrial puede ser por medio de: renovación natural, renovación artificial, estática y dinámica.

La ventilación natural de edificios industriales se mide por el número de veces que cambia el volumen del aire por hora dentro del edificio, dependiendo del proceso industrial que se esté analizando, siendo éste aire exclusivamente el destinado a la ventilación. La fórmula del caudal de aire que entra a un edificio se puede medir de la siguiente forma:⁵⁹

$$Q = C * A * V$$

⁵⁷ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 77.

⁵⁸ *Ibíd.* p. 79.

⁵⁹ *Ibíd.*

Donde:

Q = flujo del aire en m^3 / h .

C = coeficiente de entrada de la ventana.

A = Área de paso de las ventanas en metro cuadrado.

V = Velocidad del aire.

Tabla I. **Volumen de aire necesario por persona/hora/m³**

VOLUMEN DE AIRE NECESARIO POR PERSONA/HORA/M ³	
Hospitales, salas generales	60
Hospitales, salas de heridos	100
Hospitales, salas de enfermedades	150
Talleres	60
Industrias insalubres	100
Teatros y salas de reuniones	50
Escuela de niños	15
Escuela de adultos	30
Estancias ordinarias	10

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 81.

Tabla II. **Renovación del aire en número de veces/hora**

RENOVACIÓN DEL AIRE EN NÚMERO DE VECES/HORA	
Habitaciones ordinarias	1
Dormitorios	2
Hospitales, enfermedades comunes	3 a 4
Hospitales, enfermedades epidémicas	5 a 5
Talleres	3 a 4
Teatros	3 a 4

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 82

2.2.3. Pisos industriales

La principal función de un piso industrial es transmitir las cargas tanto dinámicas como estáticas hacia el suelo para proporcionar una superficie de uso lisa y fácil de mantener, al mismo tiempo que soporte las cargas que sobre ella se encuentran apoyadas. El piso debe estar uniformemente apoyado sobre el suelo, pero es necesario en ocasiones reforzar de acero en el concreto debido a que reduce así el ancho de las grietas aleatorias; por tanto, el acero debe estar cerca de la parte superior de la losa y no en la parte inferior.⁶⁰

Tomando en cuenta lo anterior, en la práctica significa que el mejor lugar para ubicar una carga pesada es cerca de las columnas. El concreto es el material que se utiliza en las fundiciones de pisos industriales y que es muy parecido al hormigón.

- Tipos de pisos

Los pisos industriales más usados en nuestro medio son:

- Pisos de cemento
 - Pisos de hormigón
 - Pisos de arcilla
 - Pisos de granito
 - Pisos sobrepuestos
- Pisos de cemento

“Son los más utilizados en los ambientes industriales de procesos, es decir, donde hay personas, maquinas, materiales, etc. Por lo general se les da un uso frecuente”.⁶¹

⁶⁰ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 86.

⁶¹ *Ibíd.* p. 87.

- Pisos de hormigón

“Son aquellos pisos a base de cemento que llevan un refuerzo con hierro armado y soportes en las juntas con DOVELAS. Se utilizan regularmente en áreas de tránsito pesado, corredores expuestos a altas cargas, etc”.⁶²

- Pisos de arcilla

“Los pisos de arcilla son aquellos que se utilizan en lugares con abundante presencia de agua ya que son altamente resistentes a la humedad pero muy frágiles a la compresión por lo que no son resistentes a cargas elevadas”.⁶³

- Pisos de granito y sobrepuestos

“Son utilizados en áreas de oficina y los sobrepuestos son imitación de pisos que se utilizan sobre otros pisos de cemento para decorar oficinas, son de resina plástica y muy frágil de colocar, su resistencia al desgaste es relativamente poca pero son muy decorativos”.⁶⁴

2.2.4. Pintura industrial

El servicio que se pretenda obtener de la pintura determinará el color a utilizar en una nave industrial. Por ejemplo, las paredes de un edificio se pueden pintar ya sea por decoración o por protección. Básicamente la pintura industrial se refiere a la protección que se necesita ya sea en las superficies, así como a las persona que laboran en dicho lugar. Dependiendo del lugar donde se utilice la pintura se puede dividir en: pintura de pisos, pintura de techos, pintura de paredes.⁶⁵

⁶² TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 87.

⁶³ *Ibíd.*

⁶⁴ *Ibíd.*

⁶⁵ *Ibíd.* p. 93.

- **Pintura de pisos**

La pintura en los pisos industriales se utiliza como protección o para obtener mejores parámetros de reflexión de la luz tanto natural como artificial sobre el ambiente al cual incide. Los pisos se deben proteger para aumentar de manera considerable su vida útil pero dependerá también de las condiciones de trabajo a que estará sometido. Por ejemplo, cuando se trata de un piso de laboratorio, el cual no estará sometido un esfuerzo grande de tráfico pesado, se puede utilizar una pintura de poliuretano de tráfico, con el que se puede obtener una diversa gama de colores, pero si en dicho laboratorio se manejan soluciones ácidas o alcalinas que con frecuencia se derraman sobre la superficie del piso.

La pintura necesaria para conservar el piso en buen estado puede ser una pintura epóxica, la cual contiene un componente catalizador y otro que contiene los sólidos, pero la calidad dependerá del contenido de sólidos que contenga dicha pintura.⁶⁶

- **Pintura de techos (anticorrosiva)**

Por lo general los techos se pintan cuando su superficie es metálica, básicamente cuando están conformados por láminas galvanizadas o similares, pues el tiempo de vida de dichas láminas estará sujeta a la región del país donde se instalen. Debido al clima las láminas instaladas en la costa tendrán una vida útil menor que una lámina instaladas en tierra fría debido a la presencia de salitre que ataca al metal, de igual manera protegerla no brindará únicamente mayor vida útil sino también puede reflejar los rayos solares dependiendo del color elegido y por ende mayor frescura del ambiente interior de la planta.⁶⁷

- **Pintura de paredes**

Las paredes se pintan básicamente por decoración y por protección de agente físicos a los cuales están sometidos. Sin embargo, cuando es una pared industrial no solamente se pintan por decoración sino también para contribuir a la iluminación con la reflexión de la luz ya sea natural o artificial. Esto afecta de manera directa en los trabajadores ya que hace del ambiente un lugar más cómodo para trabajar.⁶⁸

⁶⁶ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 93.

⁶⁷ *Ibid.* p. 95.

⁶⁸ *Ibid.*

2.2.5. Iluminación industrial

La iluminación en un edificio industrial no debe proporcionar únicamente la comodidad de contar con una buena iluminación, sino también que esa buena iluminación sea al menor costo posible, pues cuando se diseña un sistema de iluminación, el número de LUX que de existir en cada área de trabajo, pasillos, almacenes, etc., debe ser el necesario sin que se exceda en iluminación y que no sea deficiente solo por economizar energía.

La iluminación puede ser natural, artificial o combinada, estos sistemas deben ser planeados y diseñados para que se aproveche al máximo la iluminación natural, pues ella es la más económica, pero existen muchos obstáculos que impiden este aprovechamiento, como limitaciones en la construcción del edificio, por diferentes factores que obligan a que se complemente con iluminación artificial.⁶⁹

- Iluminación natural

En el diseño de un edificio industrial se debe contemplar la iluminación natural ya que esto se debe prever en el las estructuras físicas del mismo. Los sistemas más comunes son los de maqueta, es decir, sobre una maqueta a escala se realiza una simulación de la cantidad de luz que se aprecia en los diferentes ambientes del edificio. La luz natural se obtiene de colocar ventanales corridos a los extremos de las paredes laterales del edificio, así como láminas de plástico de color claro en los techos o cubierta de la planta. Los ventanales laterales para iluminación se acostumbra a ubicarlos en lugares altos con respecto al suelo, en ventanas pequeñas cerca del techo.⁷⁰

- Iluminación artificial

El diseño de la planta industrial debe considerar trabajos nocturnos con la suficiente iluminación para realizar las tareas y para esto únicamente se logra con iluminación artificial. El diseño se basa en colocar lámparas a una distancia tal que la cobertura de luz de las lámparas no se crucen unas con respecto de otras, para aprovechar al máximo la luz artificial, pues si las coberturas de luz de una lámpara con respecto a otra se intersectan, quiere decir que el número de lámparas es mayor que el que verdaderamente se necesitan y si la distancia entre las lámparas es demasiada quiere decir que el número de lámparas es insuficiente.

⁶⁹ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 98.

⁷⁰ *Ibíd.* p.100.

La altura a la que se colocan las lámparas con respecto al suelo es un factor muy importante ya que influye en la intensidad de la luz sobre la superficie de trabajo, si están muy altas la intensidad de luz podría ser demasiado tenue y si se ubican muy bajo la intensidad de la luz podría ser demasiado fuerte.

Existen muchos métodos para calcular el número de lámparas en un ambiente como lo son el método de cavidad zonal, el método de luz incidente, el método de luz directa, etc., depende de las circunstancias del lugar como el dominio del método por parte del diseñador, sin embargo, todos los métodos lograr una adecuada iluminación artificial sobre la superficie de trabajo en las jornadas de trabajo nocturnas.⁷¹

2.2.6. Control de ruidos

Los gases como el aire tienen densidad de masa y elasticidad volumétrica; la elasticidad causa que el gas se resista a ser comprimido, tendiendo a retomar su estado original al retirar la fuerza de compresión. La inercia de la densidad de masa causa el movimiento del gas a su posición original, si se retiran esas fuerzas. Las dos propiedades anteriores son los requisitos para el movimiento de ondas, por lo que es necesario un medio para propagar las ondas sonoras. Para que exista energía en forma de sonido, es necesario disponer de un medio y una fuente como por ejemplo un medio vibrante.

Los niveles de ruido que hacen daño a la salud humana son todos aquellos ruidos que sobrepasan los 90 decibeles a exposiciones largas. La sordera aparece gradualmente cuando una persona ha sido expuesta a ruidos extremos durante largos periodos de tiempo. Existen diferentes tipos de ruido entre los cuales se tiene:

- Ruido ambiente: en esta categoría se encuentran los niveles mínimos, cuando no existen fuentes de ruido.
- Ruido estable o continuo: son los generados por maquinaria o aparatos con sonidos constantes.
- Ruido intermitente: es un ruido que varía sus niveles de intensidad, pero se encuentra en niveles altos para tiempos mayores a doscientos milisegundos (200ms).
- Ruido impulsivo: es un ruido que tiene corta duración pero niveles altos.
- Ruido perturbador: en esta categoría se incluyen todos aquellos ruidos que no forman parte del ambiente.⁷²

⁷¹ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 101.

⁷² *Ibíd.*

2.3. Planeación de procesos

Para la planeación de procesos es indispensable hacer uso del diagrama de operaciones, diagrama de flujo y diagrama de recorrido con el fin de representar de forma gráfica los procesos que se llevarán a cabo y facilitar la comprensión de los mismos.

2.3.1. Diagrama de operaciones

Este tipo de diagrama muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones que son necesarias para producir los diferentes productos en una fábrica. Este diagrama abarca desde la llegada de la materia prima hasta empaque del producto final. Especifica la entrada de todos los componentes y subcomponentes al ensamble principal del producto y todos los detalles de fabricación como ajustes, tolerancias y especificaciones y se aprecian globalmente en este diagrama.

Este diagrama utiliza únicamente dos símbolos, los cuales son: círculo y cuadrado. El círculo representa una operación de transformación del producto. El cuadrado es un símbolo que representa que el producto debe ser sometido a una inspección para verificar si cumple con los estándares de calidad o especificaciones del mismo.

Se usan líneas verticales para indicar el flujo o curso general del proceso a medida que se realiza el trabajo, se utilizan líneas horizontales que entroncan con las líneas de flujo verticales para indicar introducción de materiales ya sea provenientes de compras o de algún proceso anterior. Este tipo de diagrama es de utilidad para el ingeniero de planta ya que conoce el proceso de fabricación, se puede definir el proceso productivo y tener una rutina de fabricación aunque es útil también para definir la distribución de la maquinaria o la distribución de la planta.⁷³

2.3.2. Diagrama de flujo

En general es un diagrama que contiene mucho más detalle que el diagrama de operaciones y tiene detalles más particulares, este diagrama no se puede utilizar en procesos de ensamble muy complicados, pues dejaría de cumplir su verdadero objetivo. Es útil principalmente para poner en manifiesto costos ocultos como distancias recorridas, retrasos y almacenamientos temporales.

⁷³ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 124.

Ayuda a comparar métodos, eliminar el tiempo improductivo y escoger operaciones para un estudio detallado. Utiliza muchos más símbolos que el diagrama de operaciones y existen operaciones combinadas.⁷⁴

2.3.3. Diagrama de recorrido

Una representación objetiva de la distribución de zonas, en la que se indica la localización de todas las actividades registradas en el diagrama de procesos, se conoce como un diagrama de recorrido. Es una herramienta muy valiosa como complemento al diagrama de procesos. En el cual el sentido del flujo se indica colocando periódicamente flechas a lo largo de las líneas de recorrido.

Es un diagrama muy general pero del cual se puede obtener información valiosa para el diseño del proceso y la ubicación de maquinaria. Cada uno de los diagramas aporta información relevante y útil al momento de contemplarlos como un conjunto, para poder así evaluar, diseñar o redefinir ubicaciones o procesos dentro de la planta, por lo general se presenta acompañado de un cursograma analítico donde se especifica el recorrido de materiales.⁷⁵

- Diagrama Hombre-Máquina

En este diagrama se representan las operaciones en las que intervienen hombres y máquinas, dando a conocer el tiempo empleado por cada uno; es decir, el tiempo invertido por los hombres y el utilizado por las máquinas. Con esta información se puede determinar la eficiencia tanto de los hombres como de las máquinas con el único fin de aprovechar al máximo ambos factores.

El primer paso para realizar el diagrama hombre-máquina es seleccionar la operación que se desea representar, luego se determina dónde inicia y dónde termina el ciclo que se está analizando. El siguiente paso es medir la duración de cada actividad para proceder a realizarlo. Es importante señalar que este diagrama permite conocer las operaciones y tiempo de trabajo del hombre, sus periodos de ocio y el tiempo de actividad e inactividad de su máquina y sus tiempos de carga y descarga.

Para la construcción del diagrama se selecciona una distancia en centímetros o pulgadas que represente una unidad de tiempo, esta selección se lleva a cabo debido a que este tipo de diagramas se construyen a escala. Mientras más larga es la duración del ciclo más pequeña deberá ser la distancia por unidad de tiempo. Es importante agregar información como la operación diagramada, si es el método actual o propuesto, nombre de la persona que lo realiza, fecha y cualquier otro dato que se juzgue conveniente para la mejor comprensión del diagrama.

⁷⁴ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 128.

⁷⁵ *Ibíd.* p. 129.

Una vez agregada esta información se procede a elaborar el diagrama, se agrega la escala, el hombre y las diferentes máquinas de las que estará a cargo. El tiempo de trabajo del hombre se representa con una línea vertical continua, cuando hay un tiempo muerto o de ocio con una línea discontinua. A la derecha de este diagrama de realizar el de la máquina y se toman los criterios anteriores, es decir, una línea vertical continua representa la actividad de la máquina y una línea vertical discontinua los lapsos inactivos.⁷⁶

Por último se agrega al final del diagrama el tiempo total de trabajo del hombre, el tiempo de ocio y el tiempo muerto de la máquina. Finalmente se obtiene los porcentajes de utilización de la siguiente manera:

Ciclo total del operador = preparar + hacer + retirar.

Ciclo total de la máquina= preparar + hacer + retirar.

Tiempo productivo de la máquina = hacer.

Tiempo improductivo del operador = esperar.

Tiempo improductivo de la máquina = ocio.

Porcentaje de utilización del operador = $\frac{\text{tiempo productivo del operador}}{\text{tiempo de ciclo total}}$

Porcentaje de utilización de la máquina = $\frac{\text{tiempo productivo de la máquina}}{\text{tiempo de ciclo total}}$

2.4. Distribución de planta

Indica el orden necesario de los espacios para movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc.

⁷⁶ GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 69.

- Los objetivos de la distribución en planta son:
 - Integración de todos los factores que afecten la distribución.
 - Movimiento de material según distancias mínimas.
 - Circulación del trabajo a través de la planta.
 - Utilización efectiva de todos los espacios.
 - Flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones.
 - Mínimo esfuerzo y seguridad de los trabajadores.⁷⁷

- Principios básicos de la distribución en planta
 - “Principio de la satisfacción y seguridad: la distribución más efectiva será siempre la que brinde al trabajador seguridad y haga el trabajo más satisfactorio en igualdad de condiciones”.⁷⁸
 - “Principio de la integración de conjunto: el integrar materiales, hombres, maquinaria o cualquier otro factor que resulte en un mejor compromiso entre las partes será la mejor distribución”.⁷⁹
 - “Principio de la mínima distancia recorrida: es mejor aquella distribución que acorte la distancia recorrida por el material”.⁸⁰
 - “Principio de circulación o flujo de materiales: la distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en la misma secuencia en la que se transformen, traten o monten los materiales”.⁸¹

⁷⁷ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 11.

⁷⁸ *Ibíd.*

⁷⁹ *Ibíd.*

⁸⁰ *Ibíd.*

⁸¹ *Ibíd.*

- “Principio de espacio cúbico: trata de utilizar de la mejor manera el espacio tanto en horizontal como en vertical”.⁸²
- “Principio de flexibilidad: será mejor la distribución que sea ajustada o reordenada al menor costo posible”.⁸³

2.4.1. Distribución según el producto

La distribución dentro de la planta se puede dar bajo diferentes criterios, por lo general cuando se trabaja con un producto determinado se puede organizar dentro de la planta todos los ambientes necesarios para este tomando en cuenta el recorrido del producto y la necesidad de maquinaria para su transformación. Para utilizar este tipo de distribución los analistas han utilizado técnicas manuales de ensayo y error, plantillas, dibujos y procedimientos gráficos para llegar a diseños iniciales que luego son mejorados. La calidad del diseño depende en consecuencia, de la experiencia y del buen juicio del analista.⁸⁴

- **Distribución por posición fija**

Consiste en que el material esté en una sola posición y los trabajadores y maquinaria se mueven hacia él. El material es llevado al área de montaje o fabricación en donde todos los puestos de trabajo son instalados con carácter provisional ya que se moverán según el material requiera de ellos. Tiene una amplia versatilidad y se adapta con facilidad a cualquier variación en el proceso. Debido a que todos los recursos deben llegar al material, esta distribución depende en su gran mayoría del trabajador.⁸⁵

2.5. Diseño de las áreas de trabajo

Es importante para el diseño de áreas de trabajo conocer las dimensiones necesarias para cada una de ellas. Estarán determinadas por el proceso que se lleve a cabo y la secuencia de operaciones, con esta información se podrán ubicar de manera eficiente cada una de ellas dentro de la planta.

⁸² TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 11.

⁸³ *Ibíd.*

⁸⁴ *Ibíd.* p. 129.

⁸⁵ *Ibíd.* p. 130.

2.5.1. Planeación de procesos

Dentro del diseño de las áreas de trabajo se toma en cuenta el proceso a realizar dentro de la planta por lo cual es necesario realizar varios diagramas donde se especifique la secuencia de operaciones y se describan las distintas actividades que realizará el personal.

2.5.1.1. Diagrama de operaciones

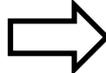
Los diagramas de operaciones juegan un papel importante en el diseño de las áreas de trabajo debido a que según la operación que se desea realizar, será el diseño del área de trabajo. Cada área de trabajo deberá cumplir con las necesidades del proceso de transformación y adecuarlas para un mejor desempeño por parte de los trabajadores.

2.5.1.2. Diagrama de flujo

Estos diagramas son los más utilizados para orientar al trabajador y explicarle cuáles son sus funciones dentro de la línea de producción. Utiliza más símbolos que los diagramas de operaciones y esto con lleva a una mejor explicación de la secuencia de los procesos, lo cual permite estudiar una parte del proceso más a fondo, buscando demoras o acciones innecesarias.⁸⁶

⁸⁶ GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 53.

Tabla III. **Simbología utilizada en los diagramas de flujo**

Actividad	Símbolo	Resultado Predominante
Operación		Se produce o se realiza algo
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve un objeto
Inspección		Se verifica la calidad o cantidad del producto
Demora		Se interfiere o se retrasa el paso siguiente
Almacenaje		Se guarda o se protege el producto o los materiales

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 54.

2.5.2. Maquinaria

Mediante la utilización de los diagramas anteriormente descritos se puede analizar la distribución de la maquinaria y de ambientes para planificar la distribución interna de la planta. Además del diseño incluir la localización o configuración de los departamentos de los sitios de trabajo y del equipo en el cual se encuentran los recursos físicos que se han de emplear para crear el producto final. Existen muchos métodos de distribución de maquinaria, la diferencia radica en el flujo de trabajo que cada uno de ellos plantea, las condiciones de la planta de producción y la naturaleza del mismo producto. La distribución de la maquinaria determina la ubicación relativa de las estaciones de trabajo.

Algunos criterios para la toma de decisiones sobre la distribución son el hecho de disminuir el costo de manejo de materiales, disminuir la distancia que recorren los trabajadores dentro de la planta y la distancia entre los departamentos relacionados.⁸⁷

- **Distribución de acuerdo al proceso**

Se aplica en aquellos casos en los que los flujos de trabajo no están estandarizados para todas las unidades de producción, una condición que se encuentra en las fábricas de producción intermitente. Este fenómeno de flujos de trabajo no estandarizados se presentan cuando debe producirse gran cantidad de productos diferentes o cuando se fabrica un tipo de producto básico, por con múltiples variaciones.

La técnica más usada para crear una distribución es la utilización de maquetas en dos y tres dimensiones, empleando plantillas de las máquinas para encontrar la mejor distribución de las mismas y la mejor manera será aquella que cuente con menos congestionamiento de tráfico de idas y venidas de los materiales entre máquina y máquina. La característica principal de este diseño es la agrupación de máquinas similares.⁸⁸

- **Distribución de acuerdo al producto**

Las distribuciones que van de acuerdo al producto son generalmente usadas en fábricas de un producto estándar, generalmente en volúmenes grandes. Cada una de las unidades producidas demanda la misma operación desde el principio hasta el final. Los centros de trabajo y el equipo están todos en línea con el fin de que la secuencia especializada de operaciones de como resultado final el producto requerido.⁸⁹

Todo esto debe lograrse minimizando el insumo de recursos logrando contestar las preguntas básicas:

- “¿Satisface la capacidad de producción deseada?
- ¿La secuencia esta adecuadamente definida?

⁸⁷ GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 101.

⁸⁸ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 130.

⁸⁹ NIEVEL, B., FREIVALDS, A. *Ingeniería industrial de Nievel: métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 40.

- ¿Es una línea eficiente?”⁹⁰

2.5.3. Área de trabajo

El diseño de las áreas de trabajo contempla no solo dimensiones sino también condiciones físicas, condiciones ambientales y la finalidad de las áreas de trabajo ya que esto es importante para reducir enfermedades y prevenir accidentes laborales.

2.5.3.1. Dimensiones

Entre los factores que determina el diseño de las áreas de trabajo se encuentran las dimensiones de las mismas, deberán ser suficientemente amplias para que el trabajador este cómodo pero no en exceso ya que esto restaría espacio valioso para otra área o tarea. Dentro de las dimensiones se debe tomar en cuenta que el trabajador no deberá realizar esfuerzo físico mayor al necesario para desempeñar su tarea.

“Dado que las posturas y los movimientos naturales son indispensables dentro de un trabajo eficaz, es importante que el puesto de trabajo se adapte de la mejor manera a las dimensiones corporales del trabajador, sin embargo, ante la gran variedad de tallas de los individuos este es un problema difícil de solucionar”.⁹¹

⁹⁰ NIEVEL, B., FREIVALDS, A. *Ingeniería industrial de Nivel: métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 40.

⁹¹ *Ibíd.* p. 278.

2.5.3.2. Condiciones físicas

Las condiciones físicas pueden variar de una planta a otra, variaciones en la temperatura, ruido, iluminación o calidad del aire pueden afectar de manera directa el desempeño y actitud del trabajador. Todos estos factores citados anteriormente son importantes ya que con la salida de uno de ellos de la escala aceptable de un trabajador puede generar dificultad para concentrarse, poner atención o bien la falta de precisión.

La exposición prolongada a unas condiciones físicas inadecuadas puede repercutir en la salud a largo plazo de los empleados, estos efectos pueden ser mitigados gracias a equipo de seguridad adecuado el cual se debe determinar el tiempo y forma de uso. Es importante considerar los factores físicos en el diseño del puesto de trabajo ya que en algunas ocasiones los riesgos a los que se expone el trabajador pueden solucionarse con un correcto diseño del área de trabajo.⁹²

2.5.3.3. Condiciones ambientales

La gran mayoría de trabajos son ejecutados dentro de espacios cerrados o semicerrados por lo que las condiciones ambientales generadas dentro de estos espacios son muy importantes para los trabajadores ya que afecta su rendimiento físico y productivo. Cada industrial y cada puesto de trabajo poseen características ambientales particulares pero la exposición a estas condiciones no deberá suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores por lo que se debe tomar en cuenta.

Los edificios, plantas o zonas de trabajo deberán tener la solidez y resistencia apropiadas para su utilización, se deberá asegurar su estabilidad y señalar las zonas de riesgo. La limpieza y el orden en el área de trabajo debe ser controladas periódicamente, esto permitirá establecer lugares seguros y no resbaladizos, también el llevar a cabo acciones de mantenimiento de forma periódica.⁹³

⁹² NIEVEL, B., FREIVALDS, A. *Ingeniería industrial de Nivel: métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 278.

⁹³ GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 280.

2.5.3.4. Finalidad de las áreas

La faceta más importante en el diseño de las áreas de trabajo es la finalidad del área, con base en esta información se puede partir y comenzar el diseño de dicha área. Dentro del proceso productivo de una planta industrial se debe contar con las áreas necesarias para obtener el producto final, cada área estará determinada de manera directa por las necesidades del proceso, es importante equipar estas áreas con la maquinaria y herramienta necesaria para emplearse en el proceso.

Tomando en cuenta la finalidad del área de trabajo se puede determinar:

- “La altura de la superficie de trabajo
- “Espacio para las piernas
- “Zonas de alcance óptimas del área de trabajo”.⁹⁴

⁹⁴ GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 280.

3. PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

3.1. Aspectos técnicos de la planta piloto

Los aspectos técnicos sobre el diseño de una planta piloto están sujetos a consideraciones que serán definidas en torno al proceso que se llevará a cabo. En el caso concreto del diseño de una planta piloto con capacidades de tratar y procesar bambú, uno de los principales lineamientos será la cantidad de materia prima a procesar, ya que actualmente la finca Sabana Grande cuenta con una plantación de 50 hectáreas de bambú de la clase *Dendrocalamus Asper*, de las cuales se tomará una parte en función de la maquinaria y necesidades del proyecto.

La capacidad productiva de una sola hectárea de bambú está determinada por la cantidad de varas o culmos de bambú producidos por hectárea. Una sola hectárea de bambú es capaz de generar alrededor de 700 a 800 varas y en la finca Sabana Grande se encuentra actualmente una plantación de 50 hectáreas por lo que se tiene un aproximado de 40 000 varas al año. Esta información es importante para el diseño, ya que esto determina el tamaño, tipo y lugar de todos los departamentos que estarán dentro de la planta piloto.

- Localización

El área designada para la construcción de la planta piloto y el centro de investigación será elegida entre dos espacios designados por la administración de la Finca Sabana Grande, ambos cuentan con acceso a la carretera principal y se encuentran ubicados cerca de la entrada de la finca. Estas ubicaciones son debido a que en el momento de que la planta y el centro de investigación comiencen su funcionamiento, el acceso del transporte pesado se dificulta dentro de la finca ya que dentro de esta no se cuenta con carretera asfaltada.

Figura 11. **Áreas para la construcción de la planta piloto**



Fuente: Ing. Agr. Guillermo Santos. Unidad de Sistemas de Información Geográfica (USIG)
FAUSAC

Se comienza con un análisis de micro-localización conociendo las posibles áreas y tomando en consideración factores físicos y factores humanos. Dentro de los factores físicos a considerar están; proximidad a las materias primas, proximidad a los suministros básicos y conservación del medio ambiente. Los factores humanos que se consideran importantes en la localización de la planta son; la mano de obra y el transporte. Para iniciar el análisis se utiliza el método de valuación por puntos y se asigna un nivel de importancia relativa con un peso a cada factor relevante a considerar para la ubicación.

- Método de evaluación por puntos

“Los factores más relevantes a considerar en la ubicación de la planta piloto son: agua, transporte, accesibilidad, servicios y espacio”.⁹⁵ El agua es un vital líquido no solo para el consumo de los trabajadores sino para su utilización en el proceso de cocido del bambú, a lo largo de toda la finca Sabana Grande se encuentran varios nacimientos de agua, pero es necesario hacer uso de un sistema de bombeo de agua para llevarla cualquiera de las dos posibles áreas. El transporte de materia prima, insumos y del producto terminado es de vital importancia, la materia prima se encuentra dentro de la finca y esta cuenta ya con rutas de acceso a todo su alrededor por lo que es bastante sencillo el transporte.

⁹⁵ TORRES, Sergio. *Ingeniería de planta*. p. 47.

Con respecto a la accesibilidad del transporte pesado para la extracción de producto terminado, la mayor parte del camino que ingresa a la finca es de terracería por lo que dificulta el acceso de transporte pesado, tomando esto como referencia es necesario ubicar la planta piloto cerca de la entrada principal de la finca, también con el objeto de evitar que el personal que la laborará en la planta tenga acceso a toda la finca. Los servicios básicos como energía eléctrica y drenajes son servicios que por conveniencia será más sencillo utilizarlos si se encuentran cerca de la entrada principal de la finca.

Por último un factor a considerar es la cantidad de espacio disponible para la construcción entre las dos áreas a comparar, el espacio deberá ser suficiente no solo para la planta piloto sino también para el centro de investigación que se requiere, asimismo deberá ser lo suficientemente amplio para que el transporte pesado pueda ingresar y salir sin ningún problema. “El área número 1 cuenta con una extensión de 10 325 metros cuadrados y el área número 2 con una extensión de 27 922 metros cuadrados”⁹⁶ por lo que el área número 2 tendrá mejor calificación que el área número 1.

Para comenzar la evaluación por puntos es necesario ponderar cada uno de los factores según su nivel de importancia en una escala de 1 a 100 puntos, en este caso se asignan valores de la siguiente manera; agua una puntuación de 100, transporte una puntuación de 40, accesibilidad una puntuación de 70, servicios una puntuación de 60 y espacio una puntuación de 75. Luego se analiza cada uno de los posibles sitios donde se puede ubicar la planta piloto y se le asigna una puntuación de 1 a 100 puntos según el nivel en el cual cumple el factor evaluado.

⁹⁶ Ing. Agr. Guillermo Santos. Unidad de Sistemas de Información Geográfica –USIG FAUSAC-

Tabla IV. **Localización: Evaluación por puntos**

Factores		Calificación			
		Área 1		Área 2	
		Calificación	Resultado	Calificación	Resultado
Agua	100	50	5 000	50	5 000
Transporte	40	80	3 200	80	3 200
Accesibilidad	70	70	4 900	80	5 600
Servicios	60	70	4 200	70	4 200
Espacio	75	60	4 500	90	6 750
Resultado			21 800		24 750

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Luego de asignar la calificación a cada una de las áreas, se procede a realizar la multiplicación entre el valor del factor y la calificación de cada área, para luego sumar todos los resultados y elegir la opción que cuente con un mayor número, ya que esto significa que en términos generales cumple con la mayoría de los factores. En este caso el área número 1 cuenta con un resultado de 21 800 puntos y el área número 2 con un resultado de 24 750 puntos, por lo que la mejor opción para la construcción de la planta piloto analizando los factores más relevantes y tomando en cuenta el cumplimiento es estos es el área número 2.

3.1.1. Clase de edificio

“Para la decisión sobre la clase de edificio que se utilizará se de tomar en cuenta necesidades presentes y futuras, tanto de los procesos que se llevarán a cabo en él, necesidades de la empresa, espacios o ambientes relacionados con su funcionamiento, ventilación, iluminación, techos, pisos, pintura, maquinaria, proceso, etc”.⁹⁷

⁹⁷ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p.61.

El espacio designado para la construcción de la planta es considerable, por lo que un edificio de una planta es una opción viable. Con respecto a los procesos e instalación de la maquinaria y departamentos dentro de la planta, se dificultaría en gran medida si el edificio contará con más de una planta, por tanto esta opción queda descartada.

El edificio de una planta brinda ciertos beneficios que aportan viabilidad para los procesos que se realizarán, los procesos para laminar y tratar bambú utilizan por lo general máquinas con un peso considerable, esto complicaría la movilidad a una segunda o tercera planta dentro del edificio. Tomando en cuenta que existe el espacio suficiente y el aprovechamiento de la iluminación y ventilación natural, un edificio de una planta es para este tipo de proceso la mejor opción.

- Tipo de edificio

“Para la elección del tipo de edificio se considera principalmente; el proceso, la capacidad financiera y propósitos a futuro sobre la planta”.⁹⁸ Conociendo el proceso que se llevará a cabo dentro de la planta, así como también la funcionalidad a largo plazo que puede llegar a tener la planta y que conjuntamente será equipada con un centro de investigación sobre el bambú y la industrialización del mismo en Guatemala, la mejor opción para dicha planta es un edificio de segunda categoría.

El edificio de segunda categoría brindará varios beneficios a la planta piloto como:

⁹⁸ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p.64.

- “Las cargas que soportan pueden ser altas.
- Son amplios en su interior y eso hace que se adapten a procesos industriales pesados.
- Aprovechamiento de iluminación y ventilación natural
- Aislamiento de trabajos peligrosos”⁹⁹

3.1.2. Tipo de techo

El techo de una planta es importante debido a que no solo deberá proteger del clima sino también proporcionar condiciones ergonómicas a los empleados que se encuentren dentro de ella. Estas condiciones dependerán en gran parte del proceso industrial que se pretende realizar dentro del edificio. “Los principales factores a considerar en la elección de un techo son la impermeabilidad, duración, seguridad, aislación térmica, aislación acústica. Además de estar compuestos por dos elementos básicos; cubierta y estructura”.¹⁰⁰

El tipo de techo ideal para la planta piloto es un techo a dos aguas ya que estos techos permiten estructuras altas que favorecerán el movimiento de las varas de bambú y el aprovechamiento de iluminación y ventilación natural.

⁹⁹ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p.64.

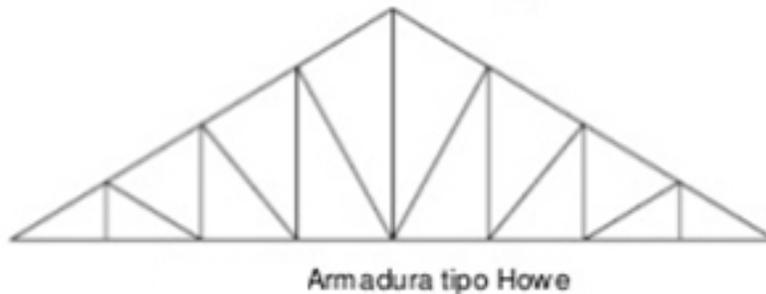
¹⁰⁰ *Ibíd.* p. 67.

- Armazón

La parte más importante del techo es la armazón ya que a esta estarán fijados los tornillos o pernos que sujetaran la cubierta. “Para un techo a dos aguas es importante tomar en consideración las cargas a las que este estará sometido, esto dependerá en gran parte del material que se utilice, que puede ser de lámina galvanizada, de zinc, de aluzinc o de asbesto cemento”.¹⁰¹

La armadura tipo Howe es comúnmente utilizada en techos a dos aguas y cuentan con claros económicos de 90 a 100 pies. Debido a todos estos factores la mejor opción para la armazón de la planta piloto.

Figura 12. **Armadura tipo Howe**



Fuente: Drugernaut MJ. *Estructuras Metálicas: Tipos de armaduras*

<http://metallicstructures.blogspot.com/2017/02/tipos-de-armaduras.html>. Consulta: 20 de agosto de 2018.

¹⁰¹ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 68.

La cubierta, debido a la actividad industrial que se llevará a cabo dentro de la planta piloto, deberá ser de lámina galvanizada que está hecha con una plancha de acero cubierta por una aleación de acero y zinc o plomo. Este tipo de lámina es fácil de maniobrar, es liviana y es mecánicamente resistente a la flexión gracias a los canales con los que cuenta. Como se describe en el capítulo anterior la cubierta de lámina galvanizada deberá cubrir un área de 1 598 m² para toda la planta. El área de oficinas y centro de investigación tiene un área de 290 m² para la totalidad de la construcción.

3.1.3. Ventilación industrial

Para las consideraciones necesarias sobre la ventilación dentro de la planta piloto es necesario conocer los distintos procesos que se llevarán a cabo dentro y la calidad del aire necesario en estos procesos. “El principal objetivo de la ventilación es extraer el aire viciado del interior del edificio y reemplazarlo por aire fresco del exterior, regulando no solo la calidad del aire sino también mantiene una temperatura interior constante”.¹⁰²

Dentro de la planta piloto se puede utilizar la energía cinética del viento para la renovación natural de aire. Para esto es necesario conocer el número de renovaciones de aire por hora adecuado para este tipo de edificio, tomando en cuenta las actividades que se llevarán a cabo. En el caso de la actividad industrial con bambú y en un ambiente cerrado donde se genera aserrín, es importante tener un número adecuado de renovaciones por hora siendo aproximadamente de 3 a 4 veces.

¹⁰² TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 79.

Tomando en consideración la cantidad de gente que estará dentro de la planta piloto se toma el valor de 4 renovaciones de aire por hora, siendo este número variable en función del porcentaje de humedad relativa en la finca “Sabana Grande la cual varía de 66 % a 90 % y la temperatura mínima promedio es de 23 grados Celsius”.¹⁰³

El siguiente punto importante en el diseño del sistema de ventilación es el tamaño de las ventanas para lo cual es necesario conocer el volumen total de aire a evacuar y el caudal de aire. Esta información será de vital importancia para el número de ventanas y la ubicación de estas.

Tabla V. **Coefficiente de entrada de la ventana**

C	Características
0.25-0.35	Cuando actúa longitudinalmente
0.3-0.5	Cuando actúa perpendicularmente

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 83.

Comenzando con los cálculos, se debe definir el coeficiente de entrada de la ventada y en este caso se tomará un coeficiente de 0,33 debido a la cantidad de ventanas que estarán actuando longitudinalmente será en proporción la misma cantidad de ventanas que actuarán perpendicularmente. La velocidad de aire en la finca Sabana Grande es de 7,5 km/h en promedio durante el año. El área de paso de las ventanas es de 75 m². Realizando los cálculos:

$$Q=0,33*7\ 500\ m^3/h * 75 = 185\ 625\ m^3/h$$

¹⁰³ PINZÓN MOREIRA, E. A., Estudio d. la capacidad del uso de la tierra, diagnóstico y servicios realizados en la finca Sabana Grande, Aldea El Rodeo, Escuintla, 2008, Guatemala. p. 4

Conociendo el volumen de aire a renovar dentro de la planta piloto, se debe calcular el caudal de aire necesario para que se dé una adecuada ventilación.

$$CA=V*No .R/hora$$

Donde:

CA = Caudal de aire necesario (m³/h)

V = Volumen de aire que se desea renovar.

No. R = Número de renovaciones por hora.

Para el cálculo del caudal de aire necesario se debe conocer el número de renovaciones de aire por hora, en este caso será de 4 renovaciones por hora. El volumen de aire que se desea renovar es de 9280 m³, entonces el caudal de aire necesario es de:

$$CA = 9\ 280 * 4 = 37120 \frac{m^3}{h}$$

El caudal de aire que es necesario para una correcta ventilación dentro de la nave industrial es de 37 120 m³/h el cual será suministrado naturalmente por medio de ventanas alrededor de la planta y apoyado utilizando extractores de aire ubicados en el techo.

3.1.4. Piso de la planta piloto

En la elección del piso de la planta piloto se debe tomar en cuenta que será utilizado para un ambiente industrial con presencia de máquinas, personas y materia prima en su mayoría pesada. Para estas necesidades los pisos de cemento son ideales, además de agregar una alta durabilidad y resistencia, es un piso fácil de limpiar. “Entre otras de las ventajas del piso de cemento esta la poca necesidad de mantenimiento gracias a sus propiedades mecánicas, propiedades que también brindan una mayor rigidez y mejor distribución de las cargas aplicadas”.¹⁰⁴

“A su vez este tipo de piso cuenta con algunas limitaciones entre las cuales se puede resaltar el apareamiento de fisuras por contracción que pueden reflejarse en las capas superiores del piso”.¹⁰⁵ Pero en el uso que se le dará dentro de la planta piloto no se corre el riesgo de estas fisuras ya que el peso sobre el suelo será moderado y exista poca probabilidad de que algún objeto pesado caiga sobre él.

El piso de cemento es la mejor opción para la planta, ya que las ventajas de su uso se adaptan de buena manera a las actividades que se llevarán a cabo. La maquinaria no será grande y los procesos no necesitan ningún requerimiento en lo referente al piso.

¹⁰⁴ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 86.

¹⁰⁵ *Ibíd.*

3.1.5. Pintura industrial de la planta piloto

La pintura industrial cumple varios objetivos, no solo se usa como decoración, sino también para contribuir con la iluminación gracias a la reflexión de la luz ya sea natural o artificial. Para la planta piloto se utilizará pintura las paredes, en el piso no se considera necesario debido a que será elaborado de cemento y no necesita mayores consideraciones de protección.

El color que se usará en la planta piloto será el gris, debido a que es un color bastante claro, por lo que gracias a la cantidad de luz que reflejará contribuirá de manera íntegra a la iluminación.

3.1.6. Iluminación industrial de la planta piloto

Gracias a la altura que tendrá la planta piloto se puede utilizar una iluminación combinada, utilizando tanto iluminación natural como artificial. Para la iluminación natural se contemplan láminas de plástico de color claro en el techo y ventanales laterales con una altura adecuada. Debido a la reflexión de la luz tanto en paredes como piso y a que las actividades que se realizarán dentro de la planta no requieren de un nivel alto de iluminación se usarán lámparas de campana de luz LED blanca de 100 watts.

La altura del plano de trabajo respecto al suelo en promedio será de 1,5 metros, por lo que las lámparas serán colocadas a una altura de 8 metros sobre el nivel del suelo y una cantidad de 55 lámparas para el área productiva de la planta y bodegas. La iluminación natural será a través de las ventanas y láminas galvanizadas transparentes en el techo de la planta.

3.1.7. Control de ruidos en la planta piloto

Dentro de la nave industrial se manejará maquinaria que genera decibeles considerables. Por ejemplo, una tronzadora emite 95 dB, una cepilladora 108 dB y por el proceso que se llevará a cabo es importante considerar la protección auditiva de los empleados y personas que ingresen a la nave industrial. Estas precauciones se tomaron en cuenta en el capítulo anterior con el equipo a utilizar, ya que la manera en que se reduce el riesgo de sufrir lesiones es utilizando protección auditiva porque en su gran mayoría los procesos generan más de 85 dB.

3.1.8. Servicios generales requeridos

Está claro que para el funcionamiento de una planta piloto es necesario contar con servicios como agua potable, energía eléctrica, servicio de drenaje, etc. Todos estos servicios son importantes para la comodidad de los empleados y para llevar a cabo los procesos.

3.1.8.1. Agua potable

El agua es un vital líquido con el que se debe abastecer la planta piloto, ya que será necesario para el consumo y para el cocido de bambú. El agua utilizada dentro del proceso de cocido no deberá ser purificada, y ya que la finca Sabana Grande cuenta con varios nacimientos de agua, únicamente será necesario utilizar una bomba para hacerla llegar a la planta ya que cerca de ella no existe actualmente ninguno. Es importante en el proceso, pues se utilizará en el tratamiento de preservación del bambú y este tratamiento será dado tanto a las latillas para laminado como para el bambú que se utilizará en artesanías.

3.1.8.2. Energía eléctrica

Gracias a la cercanía del área designada a la calle principal, se facilita la acometida de la energía eléctrica. Con esta energía se podrá alimentar tanto la maquinaria como abastecer de iluminación a la planta. Con estas consideraciones lo ideal es contar con una acometida de energía eléctrica de 220 voltios, ya que la maquinaria no trabaja con energía trifásica.

3.1.8.3. Otros

Entre otros servicios generales está el servicio de drenaje. En este caso no existe mayor complicación, ya que, aproximadamente a 100 metros, se ubica el drenaje principal de la finca Sabana Grande. Por otro lado el servicio de telefonía e internet será contratado a una de las empresas que actualmente prestan estos servicios en Guatemala, con una conexión de banda ancha de entre 5 y 10 Mbps será suficiente ya que en el área administrativa se contará con aproximadamente 4 computadoras para las cuales el ancho de banda sería suficiente.

3.2. Análisis de los factores que afectan la distribución en planta

Para realizar una correcta distribución en planta se hace necesario conocer los factores implicados en ella, así como las interrelaciones existentes entre los mismos. Estos factores tendrán una influencia e importancia relativa de acuerdo a cada organización y situación concreta por lo que posteriormente se analizarán los que se consideran más importantes en el caso de la planta piloto.

3.2.1. El bambú como materia prima

El factor más importante que afecta la distribución en planta es la materia prima, en este caso el bambú. Como se describe en el capítulo anterior, el objetivo de la planta es laminar los culmos de bambú, lo cual se logra cambiando su forma y características a lo largo del proceso.

El primer factor que se analizará es el tamaño de los materiales que se trabajarán dentro, en este caso se manejarán culmos de bambú de entre 8 y 10 metros de largo y latillas de aproximadamente 1.5 metros de largo, por lo que para almacenar grandes cantidades de este producto es necesario contar con una bodega con espacio suficiente.

La forma y peso del material a pesar de ser grande es de fácil manejo. Otra característica del producto es que es potencialmente combustible en especial luego de ser secado, por lo tanto hay que tomar en cuenta consideraciones en temas de seguridad industrial y prevención de riesgos.

3.2.2. Maquinaria para procesar bambú

La maquinaria es significativa dentro de la distribución en planta, ya que esta fijará el flujo de materiales. Es este factor que en gran parte determinó la distribución de las áreas. Se tuvo especial cuidado con el horno y la caldera de biomasa, pues estos generarán una gran cantidad de calor a su alrededor por lo tanto estas áreas deberán estar en lugares con suficiente ventilación y donde no perjudiquen las actividades del resto de la planta.

Para las máquinas como cepilladora, tronadora y canteadora únicamente se debe tomar en cuenta la cantidad de aserrín que producirán durante la operación, para lo cual es importante el uso de equipo de protección personal que se describió con anterioridad. Para el resto de la maquinaria no es necesario tomar consideraciones relevantes, ya que de la mayoría de procesos solo se tendrá desechos de aserrín y para proteger a los empleados se debe hacer uso de mascarilla en todas las áreas dentro de la planta. Como se puede observar en capítulo anterior, la distribución de la maquinaria se realizó utilizando el una distribución orientada al producto.

3.2.3. Hombre

En la distribución en planta siempre se debe considerar la seguridad del trabajador, un aspecto importante es la señalización dentro de la planta que permitirá poder transitar por zonas seguras e indicar las salidas de emergencia. Ningún trabajador deberá ingresar a la planta sin el equipo de protección personal completo que se describe en el capítulo anterior, esto con el fin de resguardarlo y prevenir accidentes. Se señalizarán todas las salidas de emergencia, extintores, elementos de primeros auxilios y todo lo referente a seguridad para poder librar cualquier percance que se presente.

Las condiciones de trabajo bajo las cuales se desarrollarán las actividades deberán cumplir con la suficiente cantidad de iluminación. Esto se logra gracias a que se tendrá iluminación natural y artificial. También se brindará una correcta ventilación al edificio por medio de ventanas laterales y extractores de aire en el techo.

Con respecto al ruido provocado por la maquinaria, se proveerá con tapones de oído para todos los empleados de la planta. Principalmente se debe supervisar el uso de equipo de protección personal, la obstrucción del suelo y condiciones ambientales. Todo esto se aplicará a los 6 trabajadores que estarán a cargo de los diferentes procesos.

3.2.4. Edificio

El edificio determina en muchos casos la distribución de la planta, sobre todo si ya existe en el momento de proyectarla. Sin embargo, en el caso de la planta piloto, se diseñó un edificio de una planta con el suficiente espacio para adecuar tanto la maquinaria como las áreas de bodega dentro, y se contaba con el espacio suficiente para esto. Se propone un diseño que cuenta con suficiente espacio para ubicar la maquinaria y áreas de trabajo donde el flujo de materiales es constante y se ubican las bodegas de forma estratégica para minimizar la distancia de recorrido de la materia prima, producto en proceso y producto terminado.

El techo se diseñó a dos aguas con cubierta de lámina galvanizada, porque contribuyen con una altura suficiente para el manejo de materiales y contará con ventanales que contribuirán con la ventilación e iluminación natural. El piso será de cemento es el ideal para ambientes donde ese encontrarán personas, máquinas y materiales.

Estas especificaciones hacen al edificio propuesto adecuado para realizar los diferentes procesos que con lleva el laminado de bambú y contribuye a la seguridad industrial de los trabajadores.

3.3. Lugar de almacenamiento del bambú

El bambú es un material que por sus propiedades físicas es propenso a la combustión, por lo que se debe almacenar en un lugar fresco y seco, además que por su forma luego de la cosecha es de gran tamaño. El bambú procesado o tratado también debe almacenarse en un lugar fresco y seco.

3.3.1. Postcosecha

Luego de realizar el corte del bambú, este se debe transportar a la planta. Es aquí donde será procesado. Se debe contar con un área diseñada para su almacenamiento, por lo general debe ser un lugar bajo cubierta y bien ventilado, evitando el contacto directo con el sol, el cual puede provocar rajaduras y torceduras. La colocación de los culmos de bambú puede ser tanto vertical como horizontal. Por cuestiones de facilidad y espacio, se colocarán en estanterías para almacenarse de forma horizontal.

Lo más importante es evitar el contacto con el suelo porque esto provocará humedad y el posible deterioro del material. También se trata de reducir el porcentaje de humedad relativa dentro de los culmos para favorecer la tarea de secado y tratamiento de preservación.

3.3.2. Bambú procesado

La bodega donde se guardarán los laminados de bambú o bien las piezas en proceso deberá ser amplia y bien ventilada. Gracias a la simplicidad del proceso, el bambú puede apoyarse en cualquiera de sus partes y ser guardado sin ningún problema. Sin embargo, es importante separarlo según la fase del proceso en el que se encuentra, para mantener el orden y la limpieza dentro de la bodega.

3.4. Distribución final de la planta piloto

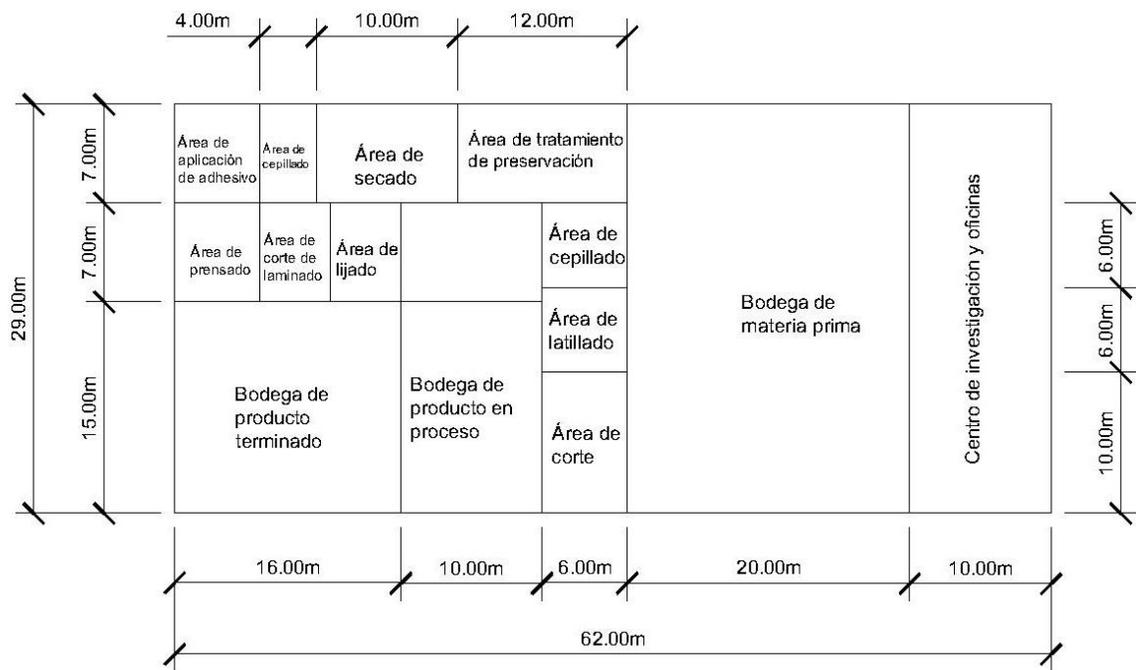
Luego de considerar varios factores que afectan la distribución en planta y los procesos que se detallaron en el capítulo anterior, se propone una distribución en la cual se toma en cuenta la salida y entrada del producto, así como la maquinaria necesaria para laminar y tratar bambú.

El método utilizado para ubicar las diferentes áreas dentro de la planta fue la distribución por producto, porque dentro de la planta se realiza únicamente el laminado de bambú y utilizando los principios de esta distribución se ubican las áreas y maquinaria de manera que la fabricación se dé de manera continua.

3.4.1. Croquis de la planta piloto

A continuación se muestra el diseño de la planta piloto donde será procesado el bambú. Se detallan las medidas de todas las áreas de trabajo, la ubicación de la bodega de materia prima, un centro de investigaciones y un área para oficinas.

Figura 13. Croquis completo de la planta piloto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Las dimensiones finales de la planta piloto son de 29 metros de profundidad y 62 metros de ancho incluyendo las bodegas de materia prima, producto en proceso, producto terminado y un centro de investigación con oficinas.

4. DISEÑO DE LAS ÁREAS DE TRABAJO

4.1. Planeación de los procesos en la planta piloto

Es necesario planear los diferentes procesos que se llevarán a cabo dentro de la planta piloto para poder conocer los requerimientos que estos tendrán y así diseñar acorde a dichos requerimientos las áreas de trabajo. Estos procesos serán representados en forma de diagramas para una fácil comprensión y a su vez identificar de mejor manera los puntos donde es necesario abastecer de materia prima y la maquinaria que será necesaria.

4.1.1. Identificación de los procesos para transformar bambú

Antes de comenzar con los procesos de transformación, se debe dar cierto tratamiento a los culmos, los cuales les dará mayor resistencia, protección contra ataque de insectos, etc. Previo al proceso industrial del bambú, se debe dar un tratamiento postcosecha, el cual puede brindarse por métodos químicos y métodos no químicos. El bambú será utilizado principalmente para el laminado pero también puede ser usado de forma artesanal. Cada uno de estos procesos utiliza los culmos luego de ser tratados para su preservación y ser sometidos a un tratamiento de secado o carbonización.

- Laminado

“El mayor productor de bambú en la actualidad es China, donde existen más de 100 plantas procesadoras de bambú y el principal producto que ofrecen al mercado es el laminado”.¹⁰⁶ En América Latina el único país que procesa el bambú es Colombia, en donde es transformado de manera que pueden ser utilizados para pisos, recubrimiento de paredes, cielos rasos, mesas, sillas, baúles, cajones, puertas, ventanas y diferentes usos mobiliarios. “Por lo general se producen tableros de 3 capas que gracias a las propiedades del bambú como su fibra larga y fuerte y su crecimiento acelerado hacen de este un material estructural, resistente y ecológicamente sostenible”.¹⁰⁷

Los laminados de bambú son producidos a partir de tablillas o latillas que son extraídas de los culmos. Estas latillas son unidas utilizando adhesivos o resinas y prensamientos en frío o en caliente para luego dar forma a la pieza y acabados con pintura o barnices de acuerdo a los requerimientos del mercado. Esta transformación no se realiza actualmente en Guatemala. La Facultad de Agronomía con el apoyo de la Embajada de China (Taiwán), comenzará una planta piloto que servirá como referente en el país sobre este proceso.

¹⁰⁶ Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p.10

¹⁰⁷ Gustavo Teneche *GUADUA Y BAMBÚ COLOMBIA*. <https://guaduabambucolombia.com/construccionesenguadua/laminadosypisosdeguaduabambu/>. Consulta: 10 de agosto de 2018.

- Selección del bambú

El primer paso para la realización de laminado es la selección de la materia prima. El bambú que está en condiciones óptimas para ser utilizado en el proceso debe tener entre 4 y 6 años de edad. Es de vital importancia que sean varas rectas, gruesas y con un espesor de pared entre 7 y 9 mm., características con las que cumple la especie *Dendrocalamus Asper*. Si la edad del bambú fuera menor a los 4 años, los tejidos no estarán completamente maduros, la resistencia de la fibra no será uniforme debido a que no se ha integrado totalmente y un bambú demasiado joven luego del proceso de secado tiende a deformarse.

“En el caso contrario, cuando la edad del bambú superara los 6 años de edad, posterior al secado presentará un exceso de dureza debido al incremento en la cantidad de silicio dentro de sus fibras, siendo un material con baja resistencia y genera un mayor desgaste en las herramientas de corte por lo que no es la opción ideal para procesar grandes cantidades”.¹⁰⁸

- Corte

El corte de los culmos debe realizarse a una altura de 15 a 30 cm arriba del suelo, con la precaución de que el corte se realice justo en la parte superior del entrenudo, esto con el fin de evitar la acumulación de agua en el entrenudo y la pudrición del rizoma. Este corte se realiza en temporada seca con el fin de evitar que los tallos no estén saturados de agua. La longitud aproximada de la parte útil de los culmos es de entre 10 a 12 m.

¹⁰⁸ VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. p. 40.

“El tamaño de los culmos de bambú dependerá de la longitud del producto final, por lo que es recomendable considerar de entre 9 cm y 10 cm extra en el tamaño para el procesamiento posterior. Este corte es realizado con la ayuda de una tronzadora manual para garantizar la limpieza y exactitud en el corte”.¹⁰⁹

- Eliminación de nudos o latillado

Para continuar con el proceso es necesario aserrar el culmo de bambú en tiras o latillas. “Este proceso se realiza con la ayuda de una latilladora, la cual genera tiras de un ancho bastante uniforme, pero al no ser totalmente rectas genera problemas en el procesamiento posterior, por lo que es necesario realizar un cepillado para obtener la mayor rectitud posible en las tablillas”.¹¹⁰

- Cepillado inicial

El objetivo del cepillado es desgastar las 4 caras longitudinales del bambú, eliminando la parte verde y amarillenta, permitiendo que la humedad del culmo evapotranspire con mayor facilidad. “Este cepillado inicial también contribuye a reducir la carga del cepillado fino, disminuir el volumen introducido en el horno, el tiempo de secado y haciendo más fácil la absorción de los químicos utilizados como preservantes que serán aplicados posteriormente”.¹¹¹

¹⁰⁹ Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER), Industrialización del bambú en Guatemala. Proyecto. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, Embajada de China (Taiwán). 2013. p. 12

¹¹⁰ WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú 2017*. p. 17

¹¹¹ *Ibíd.* p. 18

- Tratamiento de preservación

Se da este tratamiento con el objetivo de eliminar proteínas, azúcares, almidones, grasas cerosas y otros nutrientes que contiene el bambú. Durante este proceso los culmos deberán estar sumergidos de entre 6 a 8 horas en agua caliente con químicos que lo harán resistente a plagas y reducirán su deterioro, prolongando su vida útil hasta alrededor de los cuarenta años, pero si no se le aplica un tratamiento de preservación puede reducirse su vida útil hasta en una cuarta parte. “La relación del disolvente que se utilizará en este proceso debe ser de 1 de ácido bórico por 1,4 de bórax y el calor será dado por medio de una caldera”.¹¹²

- Secado o tratamiento de carbonización

Luego del tratamiento de preservación las tiras de bambú se encontrarán saturadas de agua por lo que es necesario reducir el porcentaje de humedad dentro de ellas hasta un 12 % pero siempre y cuando sea no menos del 10% y más de 15 % de humedad, se considera un secado correcto. Este proceso se realiza dentro de un horno con temperatura y circulación de aire controlada, ya que se debe alcanzar por lo menos los 75 grados centígrados, por un tiempo estimado de 4 horas. El calentamiento debe ser progresivo, pues un aumento brusco en la temperatura generará deformaciones o agrietamiento en las tiras de bambú.

¹¹² WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú 2017*. p. 23.

También se puede realizar un tratamiento de carbonización, donde se busca eliminar los nutrientes del bambú y brindar un color marrón oscuro a las tiras. “La temperatura de carbonización oscila entre 100 y 105 grados centígrados, pero se diferencia del secado, ya que se debe realizar con una presión de entre 0,3 y 0,4 Mpa en un tiempo de alrededor de 4 horas”.¹¹³

- Cepillado fino

Posterior al secado, es necesario realizar un cepillado más fino que el primero, con el que se pretende eliminar la parte verde y amarilla restante que el primer cepillado no logro quitar del bambú. Se realiza un desgaste menor donde la exactitud del espesor tiene que mantenerse entre 0,2 mm, para el cual se debe seleccionar una herramienta de desgaste hecha de material de carburo o de acero, ya que son las herramientas que ofrecen mejor acabado.

Para continuar con el proceso de laminado es necesario seleccionar las mejores tablillas. Esto se hace con dos propósitos, el primero es descartar los materiales defectuosos que pueden afectar el proceso más adelante fallando mecánicamente, el otro es clasificar las tablillas en grupos de color donde el degradado sean uniforme y lograr que en la misma pieza se encuentre un mismo color de tablilla.

¹¹³ WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú 2017*. p. 25.

- Aplicación de adhesivo

Luego de seleccionar las tablillas a utilizar se deben ordenar para poder agregar el adhesivo. Se aplica un tipo de resina adhesiva de urea-formaldehído. Se debe tener un especial cuidado de agregar aproximadamente 200g de resina por metro. También se puede modificar el adhesivo de urea-formaldehído o bien utilizar otro tipo de colas, con el fin de aumentar o mejorar ciertas propiedades. “El adhesivo de urea-formaldehído es una de las mejores opciones para agregar al bambú debido a que su principal propiedad es que, una vez moldeada, no se ablanda con el calor y conserva su dureza debido a su estructura interna”.¹¹⁴

“Para este proceso es necesaria una máquina de rodillos que aplique el adhesivo, debido a la baja tasa de absorción tangencial o radial del bambú, este proceso es lento. Puede durar de 15 a 20 minutos”.¹¹⁵ Luego de esto las tablillas están listas para ser laminadas mediante prensado en caliente que es muy similar al prensado de madera, con la diferencia de que el bambú necesita un tiempo ligeramente mayor.

- Prensado caliente

El proceso de prensado del bambú depende de la conductividad térmica de este y debido a que es menor que la madera, el tiempo de prensado será mayor que el de la madera. Se emplea una temperatura de prensado de entre 100 y 110 grados centígrados. La presión frontal hacia abajo deberá ser de 1,5 a 1,8 Mpa.

¹¹⁴ WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú 2017*. p. 26.

¹¹⁵ *Ibíd.*

“Así como también longitudinalmente de 1 a 1,5 Mpa”.¹¹⁶ Durante 12 minutos aproximadamente y posterior a esto, se de controlar el enfriamiento debido a que pueden ocurrir problemas de deformación y variar la resistencia del espesor de la tabla. Luego se aplica un prensado en frío para moldear el producto y asegurar la calidad del laminado.

- Corte de tablas

Luego del proceso de prensado en frío se procede a cortar los excedentes y dejar las tablas de un tamaño estandarizado con ayuda de una máquina de corte y dar un aserrado vertical y horizontal o en la escala de las medidas deseadas. En función de la manera en que se acomodan las tablillas se obtendrán diferentes acabados en el laminado final, para el cual es necesario lijar las caras de la tabla.

- Lijado final

Se utiliza una lijadora de banda ancha para trabajar cierta medida específica, asegurar que la superficie de la tabla esté lisa y el espesor sea uniforme. Luego se obtendrá una tabla laminada de bambú con características mejores a las de la madera de roble en dureza, un color claro casi blanco de manera natural, una resistencia a la humedad superior a la de muchas maderas y poca deformación al momento de trabajarlo, a la cual se le pueden dar diferentes usos.

¹¹⁶ WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú 2017*. p. 27.

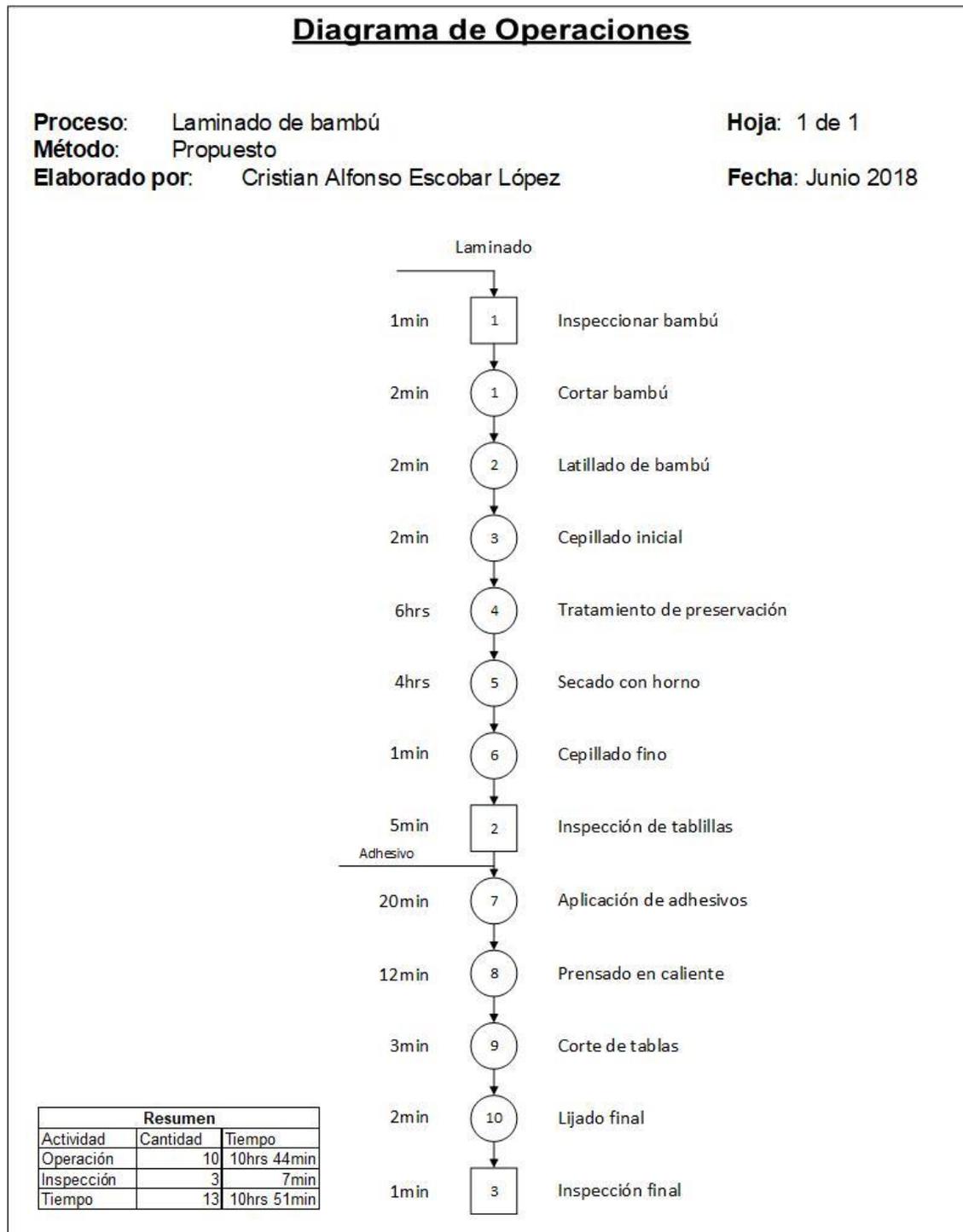
4.1.2. Diagrama de operaciones para la transformación de bambú

Para comprender y mostrar el proceso de transformación del bambú de una manera más específica se utilizará un diagrama de operaciones donde identifican los procesos antes descritos. En él se puede mostrar el tiempo requerido, la situación de cada paso o si los ciclos de fabricación son los adecuados.

En el diagrama se describirá de forma gráfica el proceso de transformación del bambú para obtener el laminado. Se indicarán las diferentes operaciones e inspecciones que se encuentran dentro del proceso.

A continuación se muestra el diagrama de operaciones del proceso de laminado de bambú.

Figura 14. Diagrama de operaciones del laminado de bambú

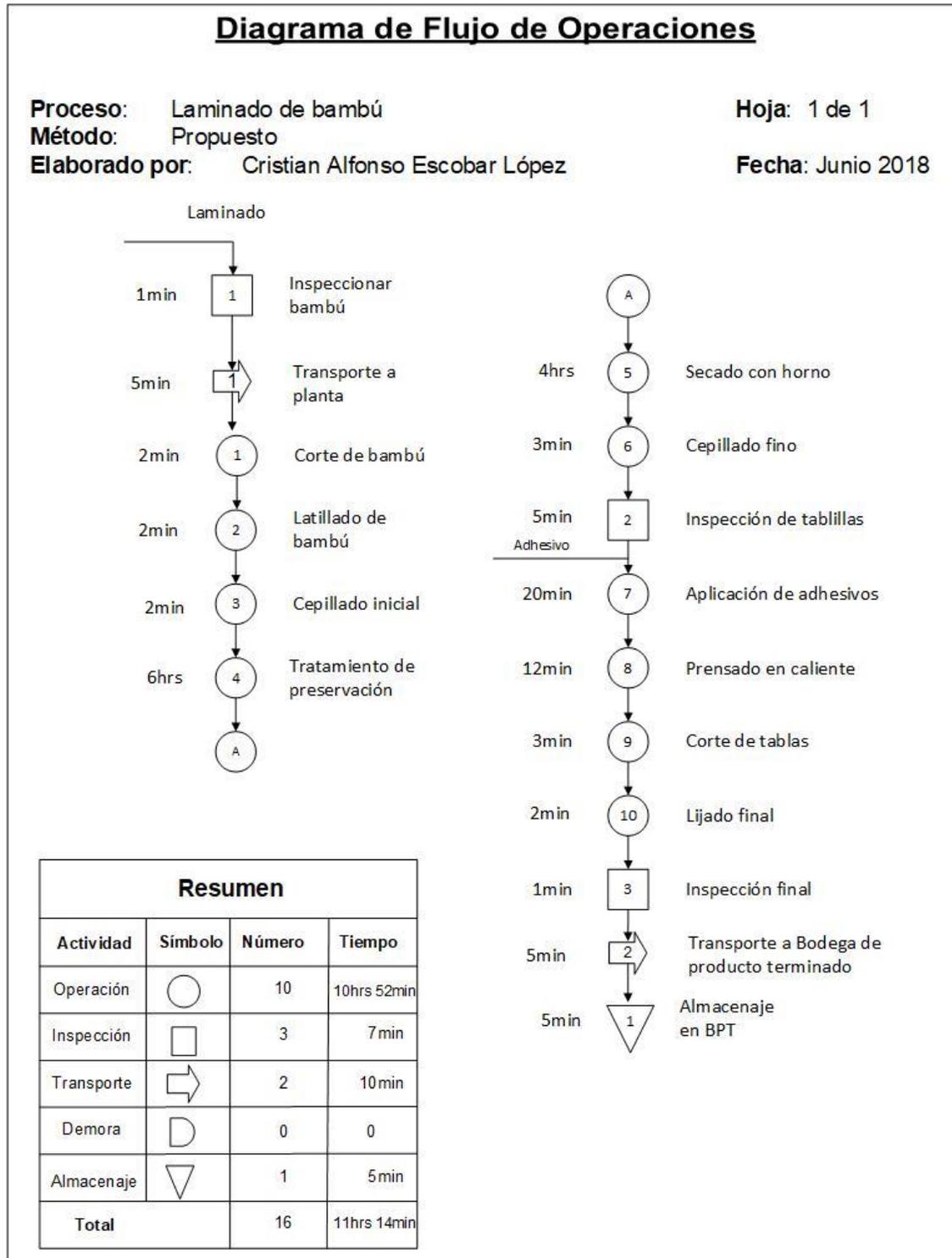


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

4.1.3. Diagrama de flujo de los procesos para transformar bambú

Este diagrama es una representación gráfica que permite mostrar la secuencia cronológica de actividades que se siguen dentro de un proceso utilizando símbolos de acuerdo con su naturaleza. Incluye toda la información para llevar a cabo como operaciones, transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos que ocurren durante el proceso, tiempo requerido y distancias recorridas. El proceso de laminado de bambú será descrito a continuación:

Figura 15. Diagrama de flujo de operaciones del laminado de bambú



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

4.2. Maquinaria propuesta

Como se ha explicado anteriormente, existen diferentes tipos de máquinas involucradas en el proceso de laminado y curado de bambú. Cada una de estas máquinas será detallada a continuación y se explicará de mejor manera el uso particular que se le dará dentro del proceso, así como también las consideraciones generales que se deberán tomar en cuenta para el uso de dichas máquinas.

4.2.1. Maquinaria necesaria para transformar bambú

A lo largo del proceso de transformación se utilizan diferentes máquinas, desde la entrada a la planta cortando las varas de bambú hasta el cepillado final de las tablas laminadas. Cada una de estas máquinas se describen a continuación y se especifica su uso dentro del proceso. De acuerdo con la capacidad productiva de la finca Sabana Grande, la planta deberá procesar alrededor de 40 000 varas de bambú al año, siendo el corte de estas varas acorde a la demanda del mercado.

- Tronzadora
- Latilladora
- Cepilladora
- Caldera
- Horno de secado
- Máquina aplicadora de adhesivo
- Prensa en caliente
- Canteadora

- Tronzadora

Una tronzadora es una herramienta eléctrica que sirve para cortar diferentes materiales por medio de abrasión, mediante el uso de un disco permitiendo realizar cortes rectos. Se utilizará una tronzadora de disco abrasivo con la cual se podrá seccionar las varas de bambú en secciones de aproximadamente 10 metros de largo. Dependerá únicamente de la uniformidad del ancho del tronco. “Esta tronzadora ocupa un espacio aproximado de 900 mm x 550 mm x 1 360 mm”.¹¹⁷

- Latilladora

Es una herramienta manual o motorizada que permite de forma rápida y fácil obtener latillas de bambú. Este corte es realizado gracias a un empuje de la caña contra la herramienta de corte. Estas herramientas están formadas por un juego de cuchillas intercambiables o “mariposas”. Se pueden seleccionar diferentes herramientas de corte para obtener diferente ancho de latillas. Para el proceso específico del laminado de bambú se utiliza una herramienta de corte con 5 cuchillas para obtener 10 latillas de cada vara, las cuales pasarán al siguiente proceso. “Esta máquina tiene unas dimensiones de aproximadamente 450 cm x 50 cm x 140 cm”.¹¹⁸

¹¹⁷ ABRATOOLS S.A. *Tronzadora de disco de acero.* <http://www.abratools.es/TRONZADORA-DE-DISCO-DE-ACERO-HSS-BF-250-M>. Consulta: 21 de junio de 2018.

¹¹⁸ Jorge Morán Ubidia. *Construir con Bambú (Caña de Guayaquil).* http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manual-Construccion-Bambu.pdf. Consulta: 21 de junio de 2018.

- Cepilladora

También es conocida como una máquina herramienta que realiza la operación de cepillado. Esta operación consiste en elaborar superficies planas, acanalamientos u otras formas geométricas en la pieza. La única restricción con la que cuenta es que las piezas deben ser planas. El objetivo de la máquina es lograr superficies perfectamente planas. Está formada de un bastidor que soporta el plano de trabajo rectangular, el cual está compuesto por dos mesas horizontales entre las que se sitúa el árbol porta cuchillas o rodillo.

La mesa de alimentación es por lo general la más larga y puede llegar a estar compuesta desde un rodillo hasta cuatro. La diferencia radica en la cantidad de caras que puede desgastar en un mismo movimiento. En el caso de la cepilladora para realizar el lijado inicial se puede utilizar una de dos rodillos, en donde el lijado no debe ser exacto. Se realiza con el fin de darle forma a las latillas de bambú y eliminar parte del color verde que recubre los culmos. “Las dimensiones de la cepilladora son de 270 cm x 112 cm x 170 cm”.¹¹⁹

- Caldera de biomasa

Una caldera es un recipiente cilíndrico metálico cerrado con el objetivo de generar vapor o calentar agua, lo cual se realiza mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. Dentro del proceso de transformación del bambú será utilizada una caldera de biomasa la cual será alimentada con el residuo del proceso, para calentar agua en el área de tratamiento de preservación.

¹¹⁹ Katherine Liu. *Doble lado cepilladora/madera/cepilladora*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/double-side-planer-wood-planer-bench-planer-mb2045b-60186813340.html?spm=a2700.8699010.29.1.12962ddeK8SwK> p&s=p. Consulta: 21 de junio de 2018.

El área necesaria para ubicar una caldera de biomasa es de aproximadamente de 5 m x 3 m. Pero será ubicada en el área del tratamiento de preservación ya que es el lugar donde es necesario el calor que proporciona la caldera de biomasa y tiene dimensiones de “1 070 mm x 1 310 mm x 820 mm”.¹²⁰

- Horno de secado

Un horno de secado es un equipo con el cual se puede aplicar temperatura desde 50 grados hasta 350 grados según los requerimientos de curado o secado de los materiales por un periodo prolongado de tiempo. Objetivo del horno de secado es reducir el porcentaje de humedad dentro de las latillas de bambú hasta un 12 % como valor óptimo, con un calentamiento controlado de al menos 75 grados centígrados, lo cual permitirá evitar deformaciones o agrietamientos en las latillas. “El horno ocupa un espacio de 2 m x 5 m x 2 m”¹²¹, pero se debe considerar el espacio para el enfriado de las piezas luego de salir del horno.

- Máquina aplicadora de adhesivos

Una máquina aplicadora de adhesivo funciona mediante rodillos que aplican cierta cantidad del adhesivo a las piezas. Esto se hace con el objetivo de obtener piezas con adhesivo aplicado de forma uniforme y dependiendo de la capacidad de la máquina será el tiempo que la pieza estará en ella.

¹²⁰ Bostnan. *Caldera de biomasa*. <https://www.domusateknik.com/es/gestor/recursos/uploads/archivos/catalogos/biomasa/bioclass/bioclass.pdf>. Consulta: 21 de junio de 2018.

¹²¹ Alibaba.com. *Horno para secado de madera*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-timber-kiln-drying-machine-wood-drying-kiln-equipment-60130167995.html?spm=a2700.8699010.29.1.3724663fcYIXnr&s=p>. Consulta: 21 de junio de 2018.

Luego de ser aplicado el adhesivo, las piezas serán prensadas en caliente, por lo que es de vital importancia que sea aplicado de forma uniforme. La máquina aplicadora de adhesivos tiene unas dimensiones de “207 cm x 80 cm x 130 cm”¹²².

- Prensa en caliente

Estas son máquinas que realizan una presión hidráulica, con la aplicación adicional de calor que regularmente son utilizadas para prensar laminados o tableros. Tiene dimensiones de “4 250 x 2 800 x 1 670 mm”¹²³. En el caso de la planta piloto será utilizada una prensa en caliente con el objetivo de reducir el tiempo de prensado de los laminados de bambú, por lo que el tiempo de prensado es de 10 a 12 minutos aproximadamente y a una temperatura de entre 100 y 110 grados centígrados como se especificó anteriormente, donde el calor deberá ser aplicado progresivamente para evitar riesgos de deformación.

- Canteadora

Es una máquina que sirve para rebajar el canto de la pieza o bien darle forma a una de las caras de la misma con medidas precisas, para luego pasarla al cepillo o bien realizar los cortes que sean necesarios. Dentro del proceso de laminado será utilizada para dar los cortes finales a la tabla de bambú y conseguir con esto un estándar de medidas en el producto final.

¹²² Alibaba.com. *Aplicadora de adhesivos*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/wood-automatic-industrial-glue-applicators-60461289412.html?spm=a2700.8699010.29.46.194b30bbnpcmip>. Consulta: 21 de junio de 2018.

¹²³ BIESSECDN.com. *Prensa en caliente*. http://www.biessecdn.com/media/files/2976_5808A1015_Biesse_CatBlaze120_ott16_SPA_Lr.pdf. Consulta: 21 de junio de 2018.

4.2.2. Secuencia de utilización de maquinaria

Para definir una utilización de maquinaria se debe entender que existen procesos que llevan un tiempo considerable para el cual no es necesario que el trabajador se encuentre siempre presente cerca de la maquinaria. Es por esto que se puede reducir la cantidad de trabajadores, ya que luego de comenzar cierto proceso en una máquina el empleado puede continuar con labores en otra área.

Los procesos de tratamiento de preservación y secado son los que más tiempo consume, por lo que son tareas que pueden comenzarse y continuar labores en el resto de áreas. Lo ideal será cargar los tanques para el tratamiento de preservación e ingresar los culmos de bambú tratados al horno para arrancar estos dos procesos. Una vez iniciados se puede seguir trabajando en el área de corte y cepillado inicial para tener cierta cantidad de latillas listas para el curado, así como también se puede trabajar en el área de prensado, lijado y corte final durante el tiempo que el horno está encendido. Todo esto se puede lograr gracias a los resultados que se muestran en los diagramas hombre-máquina que se muestran a continuación.

- Tronzadora, latilladora y cepilladora inicial

Las primeras máquinas que se utilizan en el proceso de transformación del bambú son: la tronzadora, la cual cortará las varas para que las tablillas que se obtengan tengan una longitud similar; posteriormente, las varas cortadas pasan a la latilladora, donde se obtienen tablillas listas para el cepillado y continuar con el tratamiento de preservación.

Figura 16. Diagrama hombre-máquina, tronzadora, latilladora y cepillado inicial

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA			
Empresa:	Planta piloto para tratar bambú	Método:	Propuesto
Operación:	Corte de bambú	Realizado por:	Cristian Escobar
Máquina:	Tronzadora, latilladora y cepilladora inicial	Pág. No. 1 de 1	
		Tiempo en minutos	Fecha: agosto 2018

	Hombre	Tronzadora	Latilladora	Cepilladora
0,0				
0,5	Inspeccionar bambú 1	Ocio innecesario 1		
1,0				
1,5	Cargar tronzadora 0,5	Ocio necesario 0,5		
2,0	Realizar corte 1	Cortar 1	Ocio innecesario 3	
2,5				
3,0	Descargar tronzadora 0,5	Ocio necesario 0,5		
3,5	Cargar latilladora 0,5		Ocio necesario 0,5	
4,0	Realizar latillado 1		Latillar 1	
4,5				
5,0	Descargar latilladora 0,5	Ocio innecesario 4	Ocio necesario 0,5	
5,5	Cargar cepilladora 0,5			Ocio necesario 0,5
6,0	Realizar cepillado 1		Ocio innecesario 2	Cepillar 1
6,5				
7,0	Descargar cepilladora 0,5			Ocio necesario 0,5

	Tiempo de ciclo	Ocio	Utilización
Hombre	7 min	0 min	100,00 %
Tronzadora	2 min	5 min	28,57 %
Latilladora	2 min	5 min	28,57 %
Cepilladora	2 min	5 min	28,57 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

En el caso de las primeras tres máquinas que forman parte del proceso de transformación del bambú se puede observar, gracias al diagrama hombre-máquina, que el trabajador tiene una utilización del 100 % mientras que las tres máquinas tienen una utilización del 28,57 % todo para un ciclo total de 7 min. En los que se trabajan 2 varas de bambú con una pérdida del 5 % en la tronzadora, 5 % en la latilladora y 10 % en el cepillado.

- Tratamiento de preservación y horno

Posteriormente al tener las latillas de bambú se procede con la aplicación del tratamiento de preservación. Dicho tratamiento tiene una duración aproximada de 6 horas. Luego, es necesario reducir el porcentaje de humedad dentro de las latillas hasta un 12 %, para lo cual se utiliza un horno eléctrico con capacidad para 20 m³ y el diagrama hombre-máquina se presenta a continuación.

Figura 17. **Diagrama hombre-máquina, preservación y horno**

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA			
Empresa:	Planta piloto para tratar bambú	Método:	Propuesto
Operación:	Corte de bambú	Realizado por:	Cristian Escobar
Máquina:	Tratamiento de preservación y horno	Pág. No. 1 de 1	
		Tiempo en minutos	Fecha: agosto 2018

	Hombre	Preservación	Horno
0			
15	Preparar preservación 15	Ocio necesario 15	
30			
45			
345	Ocio innecesario 360	Preservar bambú 360	Ocio innecesario 390
360			
375			
390	Descargar preservación 15	Ocio necesario 15	
405	Cargar horno 15		Ocio necesario 15
420			
435			
630	Ocio innecesario 240	Ocio innecesario 270	Secado 240
645			
660			
675	Descargar horno 15		Ocio necesario 15

	Tiempo de ciclo	Ocio	Utilización
Hombre	60 min	600 min	8,89 %
Preservación	390 min	270 min	57,78 %
Horno	300 min	390 min	44,44 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013

Como se puede observar en el diagrama, el ciclo total es de 675 minutos, donde se tiene contemplado llenar el horno. En dicho ciclo se obtiene una utilización del hombre del 8,89 %, para el tratamiento de preservación del 57,78 % y para tratamiento del horno del 44,44 %. Debido a que el horno tiene una capacidad de 20 m³ se realizan cálculos hasta este punto para conocer la cantidad de materia prima necesaria para llenar el horno.

Como se describe en el capítulo anterior, el bambú de la especie *Dendrocalamus Asper*, tiene un espesor de tallo de entre 0,5 – 2 cm y un diámetro aproximado de 20 – 30 cm y alcanza una altura de 20 – 39 m. Para fines de cálculo se considera que únicamente 10 m de tallo serán adecuados para el tratamiento. Con lo anterior se procede a realizar los cálculos de volumen por cada vara de bambú, considerando 1 cm de espesor, 25 cm de diámetro y 10 m de largo, con lo que se obtiene un volumen de 0,1104 m³/vara y debido a que las varas son cortadas, latilladas y cepilladas. Antes de llegar al tratamiento de preservación se considera una eficiencia del 80 %, por lo que el volumen efectivo de trabajo es de 0,0896724 m³/vara. Con esta información se puede calcular el número de varas necesarias para llenar el horno dando como resultado 224 varas de bambú.

- Aplicación de adhesivos y prensado en caliente.

Para comenzar con la aplicación de adhesivos es necesario realizar una inspección de las tablillas que salen del horno, tanto para control de calidad como para separarlas según el color y lograr un laminado uniforme, considerando una pérdida del 5 % en este proceso, además de considerar un tamaño de laminado de 2 m x 1,20 m x 1,5 cm.

Figura 18. **Diagrama hombre-máquina, aplicadora de adhesivos y prensa en caliente**

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA			
Empresa:	Planta piloto para tratar bambú	Método:	Propuesto
Operación:	Corte de bambú	Realizado por:	Cristian Escobar
Máquina:	Aplicadora de adhesivos y prensa	Pág. No. 1 de 1	
		Tiempo en minutos	Fecha: agosto 2018

0	Hombre		Aplicadora de adhesivos		Prensa	
5	Inspección de tabillas	5	Ocio necesario	10	Ocio innecesario	25
10	Cargar aplicadora	5	Aplicar adhesivo	10		
15	Realizar aplicación de adhesivo	10	Ocio necesario	5	Ocio necesario	1
20	Descargar aplicadora	5	Ocio innecesario	12	Realizar prensado	10
25	Cargar prensa	1			Ocio necesario	1
26	Realizar prensado	10				
31	Descargar prensa	1				
36						
37						

	Tiempo de ciclo	Ocio	Utilización
Hombre	37 min	0 min	100,00 %
Aplicadora de adhesivos	25 min	12 min	67,57 %
Prensa	12 min	25 min	32,43 %

Fuete: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Como se puede observar en el diagrama hombre-máquina, la utilización del hombre es del 100 %, mientras que para la aplicadora de adhesivos es del 67,57 % y la prensa del 32,43 % todo esto para un ciclo total de 37 minutos para obtener una lámina de bambú. Con los cálculos anteriormente descritos y la pérdida de material en la inspección del 5 % se lograrían laminar los 19 m³, dando como resultado aproximadamente 527 tablas de bambú.

- Canteadora y lijadora

Por último se realiza un corte al laminado y posteriormente un cepillado fino, el cual se realiza con una lijadora. En este punto se toma en cuenta que se perderá un 5 % de material en el corte y un 5 % en el lijado final. A continuación se muestra el diagrama hombre-máquina para estas actividades.

Figura 19. **Diagrama hombre-máquina, canteadora y lijadora**

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA			
Empresa:	Planta piloto para tratar bambú	Método:	Propuesto
Operación:	Corte de bambú	Realizado por:	Cristian Escobar
Máquina:	Canteadora y lijadora	Pág. No. 1 de 1	
		Tiempo en minutos	Fecha: agosto 2018

	Hombre	Canteadora	Lijadora
0			
0,5	Preparar canteadora 0,5	Ocio necesario 0,5	
1,0			
1,5	Realizar corte 2	Cortar 2	Ocio innecesario 3
2,0			
2,5			
3,0			
3,0	Descargar canteadora 0,5	Ocio necesario 0,5	
3,5	Cargar lijadora 0,5	Ocio innecesario 3	Ocio necesario 0,5
4,0	Realizar lijado 1		Realizar lijado 1
4,5			Ocio necesario 0,5
5,0	Descargar lijadora 0,5		Ocio innecesario 1
5,5	Inspección final 1		
6,0			

	Tiempo de ciclo	Ocio	Utilización
Hombre	6 min	0 min	100,00 %
Canteadora	3 min	3 min	50,00 %
Lijadora	2 min	4 min	33,33 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Como se puede observar en el diagrama, la utilización del hombre en la fase final del proceso de transformación es del 100 %, para la canteadora es del 50 % y de la lijadora es del 33,33 % para un ciclo total de 6 minutos, en el cual se corta y lija una tabla de bambú.

Con esta información se concluye que se obtendrán 475 láminas con medidas de 2 m x 1,20 m x 1,5 cm que equivalen a 17,1 m³ de bambú. Debido a que se necesitan 224 varas de bambú y tomando en cuenta los tiempos anteriormente descritos, se pueden obtener los tiempos en que producen 475 láminas de bambú.

Tabla VI. **Tiempos necesarios para producir 475 láminas de bambú**

Tiempo	Actividades
784 min	Corte, latillado y cepillado inicial
675 min	Tratamiento de preservación y secado
19 499 min	Aplicación de adhesivos y prensado
2 850 min	Corte y lijado final
23 808 min	Total

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Se obtiene un tiempo de 23 808 minutos para producir 475 láminas. Por lo tanto el tiempo para obtener un laminado de bambú es de 50,12 minutos utilizando 224 varas de bambú.

4.3. Diseño de las áreas de trabajo

Luego de determinar los tiempos necesarios para el transformado de bambú, es necesario diseñar el área de trabajo de cada sección y poder ubicarlas dentro de la planta, utilizando el método más adecuado para esto. Lo principal es determinar el área necesaria para ubicar la maquinaria y a los trabajadores.

El propósito de diseñar áreas de trabajo no es otro que el de crear una estación que evite los riesgos de lesiones, que sea segura, saludable y productiva. Para lograr esto se debe tratar de diseñar un puesto de trabajo flexible que se pueda adaptar a diferentes usuarios o trabajadores. En específico con los puestos de trabajo de la planta piloto se tratará de evitar principalmente cargas estáticas y dinámicas, así como evitar posturas fijas e inadecuadas.

4.3.1. Áreas a proponer

Los dos procesos que se llevarán a cabo dentro de la planta piloto tienen áreas en común. Por ejemplo, el área de curado deberá ser la misma para ambos casos. Dentro de estas áreas se pretende aislar un proceso en específico y con ello diseñar una estación de trabajo acorde a los requerimientos de cada proceso. Las áreas que se proponen son las siguientes:

- Área de corte
- Área de latillado
- Área de cepillado inicial
- Área para tratamiento de preservación
- Área de secado
- Área de cepillado fino
- Área de aplicación de adhesivos
- Área de prensado
- Área de corte de laminado
- Área de lijado final

4.3.2. Dimensiones

A continuación se detallarán las dimensiones físicas que deberá tener cada área de trabajo, tomando en cuenta el tiempo de actividad, las condiciones ergonómicas y el tamaño de la maquinaria. También se evalúa el tamaño de la materia prima, ya que en muchos de los casos es necesario trabajar con culmos de bambú que pueden llegar a medir hasta los 10 metros. En la siguiente tabla se enumeran las diferentes áreas con sus respectivas medidas y tomando en cuenta el espacio ocupado por la maquinaria:

Tabla VII. **Dimensiones de la áreas de trabajo**

Nombre	Dimensiones
Corte	60 m ²
Latillado	36 m ²
Cepillado inicial	36 m ²
Tratamiento de preservación	84 m ²
Secado	70 m ²
Cepillado fino	28 m ²
Aplicación de adhesivos	42 m ²
Prensado	42 m ²
Corte de laminado	35 m ²
Lijado final	35 m ²
Bodega materia prima	580 m ²
Bodega producto en proceso	125 m ²
Bodega producto terminado	240 m ²
Total	1 413 m ²

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

4.3.3. Condiciones físicas

Dentro del diseño de las áreas de trabajo un factor considerable son las condiciones físicas en las que se desarrolla el proceso, ya que son un conjunto de variables que definen la realización de una tarea en un entorno determinado. Las condiciones físicas son todos aquellos factores que afectan al trabajador, tales como la cercanía de servicios básicos, herramientas, etcétera.

Para el diseño de los entornos físicos dentro de la planta piloto se tratarán dependiendo del proceso que se realiza en cada área y con las necesidades que esto conlleva. La primer área que se involucra en el proceso es la de corte, aquí se realizará el corte de los culmos de bambú con la ayuda de una tronadora. Esta máquina generará cierta cantidad de aserrín, por lo que la ventilación es importante en esta área. Debido a esto y a que es en donde se inicia el proceso, es ideal colocar el área en la entrada de la planta piloto, ya que es un lugar donde la materia prima puede llegar de manera sencilla. Estas consideraciones también aplican para las áreas de cepillado, corte de laminado y lijado final, pues en estos procesos se genera aserrín en grandes cantidades.

En el área de latillado el aserrín no es un riesgo. Este proceso se realiza con una herramienta de corte fija, lo que reduce la cantidad de aserrín generado en el corte. La consideración en esta parte del proceso será únicamente la manera en que el trabajador recogerá y colocará los culmos de bambú en la latilladora. Esto se soluciona con una capacitación y un correcto manejo de cargas. De igual manera, se deberá capacitar a las personas que trabajen en las áreas de prensado, aplicación de adhesivos y secado, puesto que el mayor riesgo es la manipulación de la maquinaria.

4.3.4. Condiciones ambientales

Son las circunstancias ambientales en las que el empleado realiza sus tareas y las que pueden afectar tanto la salud como el desempeño del cargo. Estas condiciones son iluminación, ventilación, ruido, temperatura y humedad, las cuales pueden afectar el desenvolvimiento del trabajador dentro de la planta piloto y que pueden ser alteradas por fuentes internas propias del proceso o por perturbaciones externas.

La iluminación es importante dentro de la planta. Estará dada en su mayoría por una fuente natural. Debido a que es un edificio de una sola planta y que el techo deberá ser alto, por el tamaño de los culmos de bambú que se manejarán dentro, es importante utilizar iluminación artificial, como se tomó en cuenta en el capítulo anterior, tanto la altura de las lámparas como los lúmenes necesarios. Respecto a la ventilación, será en su mayoría natural, pero se utilizarán extractores de aire, los cuales se mencionan y detallan en el capítulo anterior.

Para el control del ruido es importante mencionar que la protección auditiva es necesaria para todas las áreas dentro de la planta, debido a la cantidad de decibels producidos por la maquinaria que superan los 85 dB. Esta protección se brindará a los trabajadores y visitantes de la planta piloto por medio de tapones de oído. Respecto a la temperatura y humedad se controlarán mediante la ventilación como se explica en el capítulo anterior.

4.3.5. Selección de equipo a utilizar

Como en toda nave industrial, es necesario contar con el equipo de protección personal, el cual deberá ser utilizado en toda la planta y portado en trabajadores como en visitantes. Como en cualquier actividad industrial, la seguridad es importante y se utilizará equipo de protección acorde a los riesgos a los que se exponen los trabajadores y visitantes. El equipo de protección personal se utiliza con el fin de prevenir riesgos y evitar accidentes. A continuación se enumeran los diferentes accesorios que se deberán utilizar en la planta:

- Casco de seguridad
- Calzado industrial
- Protección auditiva
- Mascarilla
- Lentes protectores
- Guantes anticorte

El casco de seguridad, el calzado industrial, la mascarilla y la protección auditiva deberán ser utilizados por todas las personas que ingresen a la planta, esto con el fin de prevenir accidentes. Los lentes protectores y los guantes serán utilizados únicamente por el personal que se encuentre en las áreas de corte, cepillado, latillado y prensado, ya que son quienes están expuestos a sufrir alguna lesión.

4.4. Finalidad de las áreas de trabajo propuestas

Es importante conocer y analizar cuál es la transformación del bambú en cada una de las áreas propuestas. Dentro de cada área, el bambú será transformado con un objetivo. Esta transformación será la que posteriormente se analizará, así como las diferentes tareas que se llevarán a cabo y las personas necesarias en cada tarea.

4.4.1. Análisis del proceso del bambú dentro de cada área

El proceso de transformación comienza en el área de corte. Aquí es donde los culmos de bambú serán cortados a una medida con 10 o 15 centímetros más del que se necesita el producto final y se utilizará una tronzadora para el corte. Luego de realizar este corte, en el área de latillado, se eliminarán los nudos de los culmos y se dejará el bambú en tablillas. Las tablillas serán cepilladas para eliminar la parte verde y amarillenta de la corteza y dejarlas de un tamaño más uniforme. Este proceso se realiza en un tiempo de 7 minutos, en el cual se cortan, latillan y cepillan 2 varas de bambú.

En el área del tratamiento de preservación se eliminarán proteínas, azúcares, almidones, grasas cerosas y otros nutrientes que se encuentran dentro del bambú. Este proceso se realiza sumergiendo las tablillas entre 6 a 8 horas dentro de agua caliente con químicos que lo harán resistente a plagas y reducirán el deterioro.

Luego, en el área de secado, se hará uso de un horno para reducir el porcentaje de humedad dentro de las tablillas hasta un 12 %, calentando el horno a 75 grados centígrados progresivamente durante al menos 4 horas. Al salir del horno pasarán al área de cepillado fino, donde se clasifican las tablillas según su color y son lijadas para darles medidas uniformes y poder ser laminadas.

Posteriormente, en el área de aplicación de adhesivos, se coloca una resina adhesiva de urea-formaldehído, la cual funciona como pegamento para su posterior laminado. Al llegar al área de prensado en caliente se utiliza una prensa para calentar la tabla hasta los 100 grados centígrados y con una presión de entre 1,5 a 1,8 Mpa durante 12 minutos.

Por último, pasa la tabla de bambú al área de corte para corregir imperfecciones en las medidas y luego ser lijada por última vez. Así es como se obtiene un laminado de bambú con un tiempo estimado de 11 horas y 44 minutos. Claro está que dentro de ese periodo se obtiene materia prima para realizar más laminados que se pueden llevar a cabo mientras el horno está en funcionamiento o bien mientras se está dando el tratamiento de preservación.

4.4.2. Asignación de tareas

Para comenzar la asignación de tareas se debe tomar en cuenta el tiempo necesario para procesar el bambú en cada una de las áreas de trabajo, así como el volumen de materiales que se deben trabajar. Como se observó anteriormente en los diagramas hombre-máquina, muchas veces el porcentaje de utilización del hombre es del 100 %, mientras que en otros casos es un porcentaje muy bajo. Lo mismo sucede con las máquinas, dependiendo del área y del proceso como tal esto puede variar.

Para solucionar el problema de utilización y debido a que el laminado de bambú es un proceso en el cual se tienen dos grandes cuellos de botella, los cuales son parte del proceso en donde, a pesar de trabajar grandes volúmenes, el tiempo para realizarlo es muy largo. Tal es el caso del tratamiento de preservación que tiene una duración de 6 horas y del secado que tiene una duración de 4 horas. En este lapso es necesario únicamente mantener un control en la temperatura y la supervisión constante de la maquinaria, por lo que en esas 10 horas el trabajador puede apoyar en otras labores dentro de la planta piloto. Por lo tanto, se proponen 3 personas para la tronadora, la latilladora y la cepilladora. Para el tratamiento de preservación y horno serán necesarias 2 personas más que eventualmente apoyarán en las labores de cortado, latillado y cepillado inicial.

En el área de aplicación de adhesivos es necesaria una sola persona, ya que, según el diagrama hombre-máquina, se encargará de la inspección y clasificación de las tablillas provenientes del horno para luego aplicarles el adhesivo. Luego para la prensadora en caliente se necesita una sola persona, ya que deberá ordenar las tablillas y realizar el prensado. Por último, para la realización del corte utilizando la canteadora se necesita también una persona, debido a que sus actividades serán cargar la canteadora, medir, realizar el corte y descargarla. Finalmente se realiza un lijado final al laminado. Es necesario cargar la lijadora, realizar el lijado y descargarla, por lo que también se necesita una persona.

Además de estas 9 personas que trabajarán en el proceso de transformación del bambú, se recomienda una persona más encargada de la producción de la planta, quien realizará labores de supervisión y reporte a la administración. A continuación se resume el número de trabajadores necesarios.

Tabla VIII. **Número de trabajadores necesarios para el funcionamiento de la planta piloto**

Área	Cantidad de trabajadores
Corte	1
Latillado	1
Cepillado inicial	1
Tratamiento de preservación	1
Secado	1
Aplicación de adhesivos	1
Prensado	1
Corte de laminado	1
Lijado final	1
Encargado de planta piloto	1
Total	10

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

4.5. Distribución dentro de la planta

En esta sección se planteará la distribución final de las áreas, maquinaria y oficinas administrativas para la planta piloto, así como el centro de investigación con el que contará. Para terminar, se presenta un diagrama de recorrido de la materia prima dentro de la planta para ser transformada en laminados de bambú o bien el recorrido que llevan los culmos para elaborar artesanías.

4.5.1. Diagrama de posición de la maquinaria propuesta

Este diagrama es muy importante dentro de la distribución en planta, debido a que dará la ubicación exacta de dónde estará situada cada una de las máquinas involucradas en el proceso. Se definirán los lugares de cada una para luego tener un diagrama de recorrido de los procesos de transformación dentro de la planta piloto.

“Para ubicar la maquinaria es necesario tomar en consideración varios factores como la seguridad, la integración tanto de los hombres, maquinaria y cualquier otro factor, la mínima distancia a recorrer por los materiales, la circulación y flujo de materiales”¹²⁴ que afectarán la ubicación de las áreas dentro de la planta y ayudarán a tener un orden.

Debido al tipo de actividad que se llevará a cabo dentro de la planta piloto y tomando en cuenta que únicamente se realizará el laminado de bambú, el método más adecuado para distribuir las áreas dentro de la planta es la distribución por producto. La ventaja de este tipo de distribución es que está enfocada a fabricar un producto estándar y generalmente a grandes volúmenes de producción. “Cada una de las unidades demanda la misma secuencia en las operaciones desde el principio hasta el final, en esta distribución los centros de trabajo y el equipo están ubicados en línea con el fin de que la secuencia de operaciones se realice de mejor manera y se obtenga el mejor resultado”.¹²⁵

En el caso particular de la planta piloto se definen las estaciones o áreas necesarias para el proceso nombrándolas por tarea y prerequisite como se muestra a continuación.

¹²⁴ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 10.

¹²⁵ *Íbid.*

Tabla IX. **Estaciones necesarias para la transformación del bambú**

Estación	Prerrequisito	Área
1	-	Corte inicial
2	1	Latillado
3	2	Cepillado inicial
4	3	Tratamiento de preservación
5	4	Secado
6	5	Cepillado
7	6	Aplicación de adhesivos
8	7	Prensado
9	8	Corte inicial
10	9	Lijado

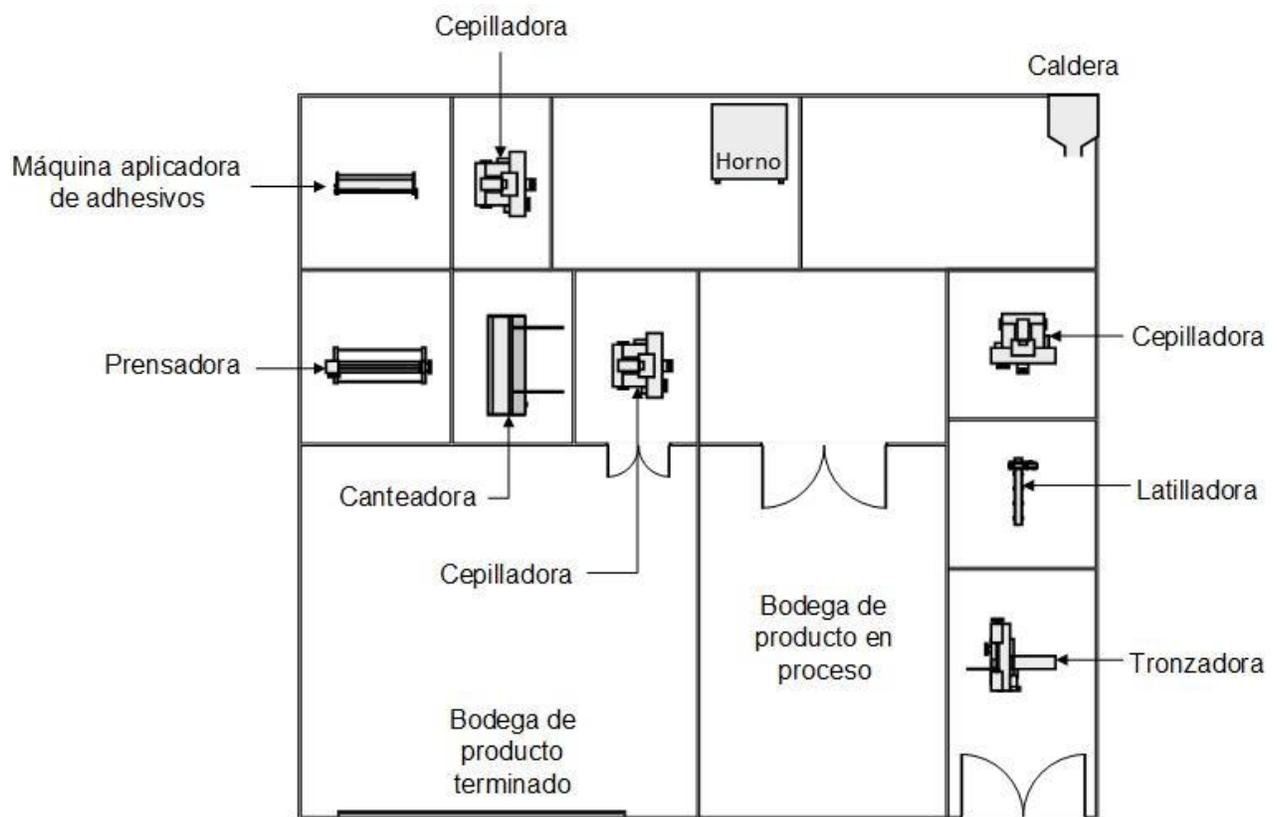
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

La secuencia está definida por la sencillez del proceso, lo que hace que cada área sea inmediata a la anterior, haciendo con esto un proceso lineal y aumentando la eficiencia gracias a la distancia entre ellas. Se procede a ubicar las áreas una detrás de la otra optimizando el espacio disponible. La planta cuenta con dimensiones de 29 metros de largo por 36 metros de ancho, considerando el espacio para la bodega de producto en proceso y producto terminado. La bodega de materia prima se ubica seguidamente de la planta con dimensiones de 20 m x 29 m debido a la gran cantidad de bambú que se puede obtener de las 50 hectáreas actualmente sembradas en la finca Sabana Grande.

4.5.2. Croquis final de la distribución

A continuación se muestra el diagrama de posición de la maquinaria dentro de la planta piloto. La distribución está dada por la secuencia del proceso y se encuentra ordenada de manera eficiente.

Figura 20. Diagrama de posición de la maquinaria



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

4.5.3. Diagrama de recorrido de los procesos de transformación de bambú

Para entender el diagrama de recorrido se debe realizar primero el cursograma analítico, ya que es donde se detalla el recorrido del proceso a lo largo de la planta y las diferentes operaciones, inspecciones, transportes o almacenamientos por los que pasa para obtenerse el producto final.

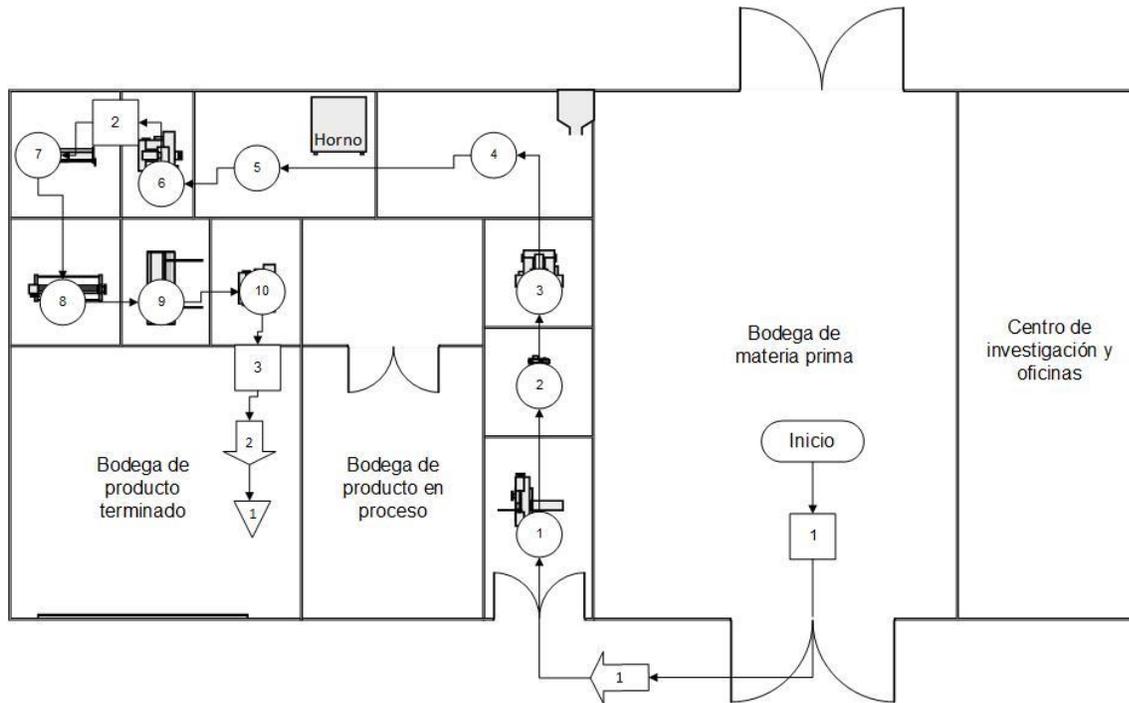
Tabla X. **Cursograma analítico del proceso de transformación del bambú**

	Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)	Símbolo					
				○	□	D	⇨	▽	
1	Inspección de la materia prima	1							
2	Transporte desde bodega a planta	5	25						
3	Corte de los culmos de bambú	5							
4	Latillado de los culmos de bambú	2							
5	Cepillado inicial	2							
6	Tratamiento de preservación	360							
7	Secado	240							
8	Cepillado fino	3							
9	Inspección de las latillas de bambú	1							
10	Aplicación de adhesivos	20							
11	Prensado en caliente	12							
12	Corte del laminado	3							
13	Lijado final	2							
14	Inspección del laminado	1							
15	Transporte de planta a bodega de producto terminado	5	15						
16	Almacenado de producto terminado	5							
Total		667	40	10	3	0	2	1	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

El diagrama de recorrido muestra el flujo de materiales desde la bodega de materia prima hasta llegar a la bodega de producto terminado, especificando las transformaciones que sufre dentro de la planta y el lugar donde suceden.

Figura 21. Diagrama de recorrido del laminado de bambú



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

En el diagrama de recorrido se puede observar que gracias a la poca distancia que los materiales deben recorrer para avanzar de un área de trabajo a otra, la línea de producción es eficiente. Utilizando 24 m^3 de materia prima se producen $17,1 \text{ m}^3$ de laminado de bambú, por lo que se tiene una eficiencia del 71,25 %. Además, como se puede observar, la ubicación de la bodega de materia prima se encuentra fuera de la planta piloto para facilitar el tránsito de vehículos de carga de la finca. Las bodegas de producto en proceso y el producto terminado se encuentran dentro de la planta como tal para ofrecer disponibilidad inmediata de materiales en cualquier punto del proceso.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

5.1. Seguimiento

El seguimiento es indispensable en cualquier diseño, ya que con este se propone la manera de controlar la realización de las operaciones acorde a las especificaciones que se plantearon en los capítulos anteriores. Se debe llevar cierto control respecto a las actividades que se realizan dentro de la planta y generar informes para contribuir a la mejora del proceso y de las operaciones.

- Mejora continua en el proceso

La mejora continua estará enfocada en su gran mayoría al proceso, esto debido a que existen una serie de factores como personas, maquinaria, materiales y métodos que se combinan para obtener un producto, en este caso el laminado de bambú. “La calidad del producto dependerá de la variación que puede ocurrir en la combinación de estos factores en el proceso”.¹²⁶

Una vez que la planta comience operaciones, será necesario que se revise continuamente el producto final para asegurar la satisfacción del cliente en cuanto a sus necesidades y expectativas. Para llevar a cabo estas inspecciones se enumeran a continuación una lista de herramientas que se puede utilizar para este propósito.

¹²⁶ TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 13

- Diagrama causa y efecto
- Entrevista
- Lluvia de ideas
- Hoja de verificación
- Gráfica de barras
- Gráficos de control
- Muestreo de aceptación
- Diagrama de operaciones
- Diagrama de recorrido

Como se describe en el capítulo 3, el proceso comienza con una inspección de la materia prima, en este caso, las varas de bambú. Es importante que las varas utilizadas para el laminado cumplan con ciertas especificaciones que se describen a continuación.

- Varas limpias
- Varas secas
- Largo de al menos 10 m
- Diámetro de al menos 25 cm
- Grosor de la pared de la vara de al menos 1 cm

La siguiente inspección se realiza luego del cepillado fino. Aquí se clasifican las tablillas por color y se separan las que en el tratamiento de preservación o secado hayan sufrido alguna deformación. A continuación se describen los criterios que se deben tomar.

- Tablillas rectas
- Poco a nula deformación
- Sin rajaduras

La siguiente inspección se realiza al final del proceso, en donde se procura que el producto cumpla con las especificaciones finales. Esto se hace mediante una inspección visual, en donde el empleado encargado deberá medir y palpar el producto final tomando en cuenta los siguientes criterios.

- Medidas exactas de 2 m x 1,2 m x 1,5 cm
- Lijado uniforme
- Color uniforme
- Prensado realizado correctamente

En estas tres inspecciones se deben realizar informes sobre los lotes de producción. Adicionalmente se deberá llevar registro de la calidad utilizando gráficos de control para una mejora continua. La calidad supone la satisfacción del cliente. Respecto a ella se deben tomar decisiones con base en los controles estadísticos de las inspecciones realizadas.

5.1.1. Formato de seguimiento

Se realiza un formato de lista de chequeo en donde se categorizan los aspectos técnicos de la planta piloto y los requerimientos de cada uno de ellos.

5.1.1.1. Lista de chequeo

La siguiente lista se puede utilizar de referencia para el cumplimiento de los aspectos técnicos de la planta piloto y la seguridad industrial de los trabajadores.

Tabla XI. **Lista de chequeo: Aspectos técnicos de la planta piloto**

Requisitos	Sí	No
Techos dos aguas		
Ventilación		
Natural		
Extractores de aire		
Piso de concreto		
Pintura gris en paredes		
Iluminación		
Lámparas de campana LED de 100W		
Al menos 55 lámparas		
Utilización de equipo		
Casco de seguridad		
Calzado industrial		
Protección auditiva		
Mascarilla		
Lentes de protección		
Guates anticorte		
Agua potable		
Energía eléctrica		

Fuete: elaboración propia, empleando Excel 2013.

5.1.2. Informes

Para asegurar la correcta realización de las actividades es importante la generación de informes para poder evaluar la calidad del proceso e identificar áreas de mejora. Estos reportes deberán ser realizados por el personal de la planta con cierta regularidad, por lo que se recomienda entregar al menos un reporte semanal al encargado de la planta. La información que deben contener se detalla a continuación:

- Cantidad de materia prima en bodega
- Utilización de materia prima
- Cantidad de producto en proceso en bodega

- Cantidad de producto terminado en bodega
- Fallas en maquinaria
- Cantidad de producto que no cumple con especificaciones
- Cumplimiento de labores de los trabajadores
- Utilización de equipo por parte de los empleados
- Encargado del reporte

5.1.3. Auditorías

Las auditorías se llevarán a cabo con el fin de asegurar la calidad, identificar deficiencias y necesidades a lo largo del proceso y así definir oportunidades de mejora. Para realizar dichas auditorías es necesario planificar cierto número de ellas a lo largo del año y realizar también algunas no planificadas con el fin de mantener el proceso controlado y minimizar el riesgo de comprometer la calidad del producto final.

- Auditorías planificadas

Este tipo de auditorías se recomienda realizarlas una vez al mes, en las cuales se verificarán los siguientes aspectos:

- Asistencia del personal a sus labores
- Revisar productos aprobados por el control de calidad
- Ubicar incidencias de defectos ocurridos en la línea de producción
- Revisar los controles de materia prima y producto en proceso
- Revisar informes realizados por los empleados
- Evaluar gráficos de control y muestreos de aceptación para cada lote de producción.

Estas auditorías deberán ser realizadas por una persona ajena a la planta piloto, esto con el fin de que se tenga credibilidad en las revisiones y que dicha persona, al no pertenecer a las actividades diarias de producción, pueda identificar fallos en controles de calidad o proceso.

- Auditorías no planificadas

Este tipo de auditorías son las que se realizan sin previo aviso. Se llevarán a cabo a petición de la gerencia. No se dará aviso al personal con el objetivo de evaluar a los trabajadores y al sistema, para observar si los resultados mostrados en las auditorías planificadas son consistentes o solo cuando se sabe que serán evaluados. Por lo general se llevan a cabo cada dos o tres meses. A lo largo del año en función de los resultados se determinará la frecuencia en que se realicen.

5.2. Mejora de las operaciones

Controlar todas las operaciones que se llevan a cabo dentro de la planta es indispensable para una mejora continua. Esto se puede realizar gracias a una inspección periódica a las áreas de trabajo y el mantenimiento de la planta.

5.2.1. Control del diseño de áreas de trabajo para el tratamiento de bambú

Las áreas de trabajo juegan un papel importante en el proceso de transformación del bambú, ya que brindan las facilidades a los trabajadores para realizar sus tareas y a su vez complementar el flujo de materiales haciendo que se tenga una producción constante.

5.2.1.1. Modelo de inspección en las áreas de trabajo

La inspección debe comenzar por evaluar tanto las condiciones físicas como ambientales del área. Se pretende mejorar o mantener ambientes agradables y favorables para los trabajadores con el objetivo de incrementar la productividad de la planta en general. Las revisiones deberán hacerse periódicamente para apoyar en la mejora continua e identificar riesgos a los que los empleados pueden estar expuestos. Los puntos más importantes en la inspección de las áreas de trabajo son:

- Iluminación
- Ruido
- Ventilación
- Equipo de protección personal

5.2.2. Propuesta de capacitación al personal

La propuesta de capacitación de personal de la planta permitirá que los empleados conozcan sus áreas de trabajo y maquinaria con la que trabajarán a diario. Los procesos no son en exceso complejos y son sencillos de realizar. En la mayoría se está expuesto a muchos peligros con el uso de maquinaria, por lo tanto la capacitación que se brindará a los empleados deberá ser orientada a seguridad industrial y manejo de máquinas. Es importante que la inducción de una persona nueva se realice con base al diagnóstico de habilidades que posea.

Es importante considerar el factor humano en cualquier proceso, ya que si se ofrecen las condiciones de trabajo adecuadas, el empleado realizará sus actividades de forma eficaz. Para esto se debe asegurar que el trabajador se encuentra en un ambiente seguro, brindándole el equipo de protección necesario para sus labores y capacitándolo en el tema de seguridad industrial. Por otro lado se debe dar capacitaciones con respecto a la utilización de la maquinaria y procesos de mantenimiento para las mismas, ya que una máquina en malas condiciones pone en riesgo la integridad de los empleados y la calidad del producto.

5.3. Control de mantenimiento de la planta piloto

Con el fin de mantener en buenas condiciones la estructura de la planta en general se propone el control de mantenimiento preventivo sobre la estructura interna y externa. Es necesario conocer el tiempo de vida útil de la pintura, lámina, estructura en general, etcétera, para que con base en este tiempo, se plantee un control preventivo.

5.3.1. Estructura interna

El control de mantenimiento preventivo de la estructura interna se basa en la vida útil de la estructura. Aquí se deben considerar la pintura, las paredes y la armazón del techo. Para la pintura, por lo general, se tiene que repintar en un lapso de 2 años aproximadamente, aunque esto dependerá de otros factores como la humedad y el uso que se le dé a las paredes. En el caso de la armazón del techo se debe tener un especial cuidado, ya que la lámina galvanizada puede llegar a oxidarse y con ello permitir el paso de agua, lo cual dañaría la estructura.

5.3.2. Estructura externa

En la estructura externa de la planta se considera el mantenimiento a la lámina galvanizada del techo, puertas y ventanas. La lámina debe revisarse a partir de los 3 años de haberse colocado, esto debido a que la ubicación de la finca Sabana Grande es una zona tropical y, por lo tanto, con precipitaciones constantes. Por lo general se cambian las láminas que sean necesarias, pero en ocasiones puede que se tenga que cambiar por completo la cubierta. Las puertas y ventanas se deben inspeccionar con regularidad para evitar el ingreso de animales o personas ajenas a la planta.

- Mantenimiento de la maquinaria

El mantenimiento se realiza con el fin de garantizar el funcionamiento regular de las maquinas que se utilizan en el proceso y evitar la no funcionalidad prematura de los equipos que forman parte de la instalación industrial. “Se pueden realizar dos tipos de mantenimiento, preventivo y correctivo, ambos con el fin de tener la producción constante y la maquinaria en buen estado”.¹²⁷

¹²⁷ Francor.com.mx. *Mantenimiento e instalaciones industriales*. <http://francor.com.mx/mantenimiento-e-instalaciones-industriales/>. Consulta: 12 de septiembre de 2018.

- Mantenimiento preventivo

Este se realiza con el fin de evitar paros en la línea de producción. En el caso de la maquinaria utilizada para la transformación del bambú se llevará a cabo dependiendo del uso y del tipo de maquinaria. Esto debido a que máquinas como la canteadora, tronzadora y latilladora utilizan herramientas de corte que deben ser afiladas con cierta regularidad. Para ellos se propone que se realice el mantenimiento preventivo al menos una vez al mes.

En el caso de las cepilladoras también deberá realizarse el mantenimiento preventivo una vez al mes. Para el horno es necesario que se cuiden aspectos como la limpieza y los sellos de la puerta, ya que esto reducirá el consumo de energía y aumentará la eficiencia del mismo, por lo que se sugiere dar un mantenimiento a cada tres meses. “Con respecto a la caldera se deberá evitar posibles bloqueos en el sistema de transporte y alimentación del horno, realizar una limpieza en general al menos una vez al mes o dependiendo del uso”.¹²⁸ La máquina aplicadora de adhesivos se debe limpiar con regularidad, esto se puede hacer diariamente para evitar acumulación de adhesivo seco en los rodillos. Por último, para la prensa, es importante limpiar las placas con las que tiene contacto la lámina de bambú, ya que puede acumular adhesivo y deformar el producto final. Esto también se deberá realizar diariamente.

¹²⁸ Karelia.fi. *Mantenimiento y uso de calderas de biomasa*. http://www.karelia.fi/bioenergia/5eures/materials_in_spanish/mantenimiento/material/Mantenimiento_y_uso_calderas_de_biomasa.pdf. Consulta: 12 de septiembre de 2018.

- Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo cuando al equipo le han ocurrido averías o fallas. Es habitual realizarlo cuando esta falla obliga a detener el funcionamiento de la máquina. En este caso lo ideal será contactar con el proveedor de la maquinaria o bien ponerse en contacto con un técnico especializado en el equipo. Para evitar que surjan este tipo de fallas o averías es importante realizar el mantenimiento preventivo con la regularidad antes sugerida y brindan capacitaciones constantes a los empleados para dar un uso correcto a la maquinaria.

CONCLUSIONES

1. El proceso industrial que se llevará a cabo dentro de la planta piloto es el laminado de bambú, que consiste en utilizar los culmos y latillarlos para obtener tablillas. Posteriormente se someten a un tratamiento de preservación en el que se agregan componentes químicos con el objetivo de evitar posibles plagas. A continuación las tablillas son ingresadas a un horno para reducir el porcentaje de humedad dentro del material hasta un 12 % y poder cepillarlo para obtener medidas uniformes. Se aplica el adhesivo sobre las tablillas y con la ayuda de una prensa en caliente son sometidas a una presión de 1,5 Mpa durante 12 minutos para luego cortar y lijar el laminado.
2. El tamaño óptimo de la planta piloto será de 29 metros de ancho por 52 metros de largo, obteniendo un área de 1 508 m² en donde se ubicará la maquinaria, la bodega de materia prima, la bodega de producto en proceso, la bodega de producto terminado y un área designada para el centro de investigación y oficinas, obteniendo una capacidad productiva de 475 láminas de bambú por ciclo.
3. Dentro de los aspectos técnicos para la creación de la planta piloto se consideró la construcción de un edificio de tercera categoría de una sola planta con un techo a dos aguas, con cubierta de lámina galvanizada, ventilación natural y artificial utilizando extractores de aire, piso de concreto, iluminación natural complementada con artificial y, por último, el ruido que será mitigado utilizando protección auditiva por todo el personal que se encuentre dentro de la planta.

4. Se diseñaron las áreas de trabajo acorde al proceso de transformación de bambú. Se determinan dimensiones para cada área tomando en cuenta el espacio necesario para trabajar y el equipo o maquinaria que se utilizará. También se consideran las condiciones físicas y ambientales que pueden afectar la realización del trabajo como la ventilación, la iluminación, el ruido y la calidad del aire, todo esto para obtener 17,1 m³ de laminado por cada 24 m³ de materia prima obteniendo una eficiencia del 71,25 %.
5. De los factores que influyen en la distribución de la planta piloto, el más importante es el bambú como materia prima, esto debido a su tamaño y manejo dentro de la planta. También se debe considerar la maquinaria porque la ubicación de esta determinará el flujo de materiales dentro de la planta. Por último se toma en cuenta el edificio donde se llevará a cabo el proceso de transformación, ya que no solo debe ser capaz de albergar el proceso, sino también de brindar las condiciones adecuadas para trabajar en él.
6. El diseño adecuado para la transformación de bambú es una distribución por producto que se centre en el flujo de materiales y ordene las áreas acorde a su función dentro del proceso. Esto lleva a una distribución lineal donde todos los espacios están ubicados uno detrás del otro, obteniendo una eficiencia del 71,25 % gracias a esta ubicación. El equipo de protección personal para laborar dentro de la planta piloto es el siguiente: casco de seguridad, calzado industrial, protección auditiva, mascarilla, lentes protectores y guantes anticorte.

7. La planta piloto para realizar laminado de bambú debe contar con la siguiente maquinaria: una tronadora, una latilladora, una cepilladora, una caldera de biomasa, un horno, una máquina aplicadora de adhesivos, una prensa en caliente y una canteadora. Con esto se obtiene un laminado de dimensiones 2 m x 1,20 m x 1,5 cm.

RECOMENDACIONES

1. El proceso de laminado no es el único que se puede realizar con la planta piloto, pues la maquinaria puede utilizarse en otros tipos de transformación de bambú, esto debido a que para varios usos es indispensable el tratamiento de preservación. Este ayuda a prolongar la vida útil del material y a la protección contra insectos. Para este tratamiento no es necesario latillar los culmos y lo hace ideal para artesanías.
2. Se pueden tomar como base las dimensiones de la planta piloto para la posterior construcción de una nave industrial, con el fin de transformar grandes cantidades de bambú y, así, futuros inversores observen el funcionamiento a nivel piloto y se puedan proponer mejoras de diseño.
3. Gestionar que encargados de la supervisión de la planta piloto usen mecanismos de control con los que se pueda asegurar que los aspectos técnicos de la nave industrial se cumplirán y asegurarán la seguridad del personal que trabaje en la transformación de bambú.
4. Que se lleven a cabo procesos de inspección constantes sobre las áreas de trabajo por los encargados de la planta piloto, mejorando condiciones de trabajo como ventilación, iluminación, ruido y calidad del aire, esto con el objetivo de que los trabajadores estén más a gusto y realicen sus actividades de mejor manera.

5. Para los factores que afectan la distribución de la planta piloto se pueden evaluar de nuevo en el caso de aumentar la capacidad de la planta, porque al momento de ubicar nuevas máquinas se debe tratar de mantener el flujo de materiales a lo largo de todo el proceso y así poder conservar las condiciones idóneas para los trabajadores. Esto contribuirá integralmente al aumento de la eficiencia de la planta piloto, logrando producir más de las 475 láminas de bambú que se proponen en este trabajo de investigación.

6. Se puede realizar una evaluación del equipo de protección personal una vez que se comiencen las operaciones. En ese momento se podrán realizar evaluaciones de riesgo más exactas que proporcionarán información importante sobre el equipo y las máquinas que se deben utilizar en cada área a lo largo del proceso.

7. La maquinaria que se plantea en este trabajo de investigación es específicamente para el proceso de laminado de bambú, por lo que al agregar procesos nuevos o bien ampliar la capacidad de la planta implica la adquisición de maquinaria nueva y adecuada para estos procesos o la cantidad de materia prima procesada.

BIBLIOGRAFÍA

1. GARCÍA CRIOLLO, Robert. *Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw Hill, 2005. 458 p.
2. GUATIBONZA AMADO, Marcelino Isaac. *Tratamiento y secado de la guadua. Muebles Domoticos*. [en línea]. <<http://mueblesdomoticos.blogspot.com/2010/11/tratamiento-y-secado-de-la-guadua.html>>. [Consulta: 10 de febrero de 2018].
3. MUTHER, Richard. *Distribución en Planta*. 2a ed. España: Hispano Europea, 1970. 472 p.
4. NIEVEL, B., FREIVALDS, A. *Ingeniería industrial de Niebel: métodos, estándares y diseño del trabajo*. 13a ed. México: McGraw Hill, 2014. 550 p.
5. RAIN, Noe. *Bamboo, Part I: How do they make it into boards?*. [en línea]. <<https://www.core77.com/posts/8982/bamboo-part-i-how-do-they-make-it-into-boards-8982>>. [Consulta: 30 de mayo de 2018].
6. SÁNCHEZ FIGUEROA, Carlos Manuel. *Diseño de la planta piloto para la elaboración de productos de limpieza, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 134 p.

7. TORRES MÉNDEZ, Sergio Antonio. *Ingeniería de Plantas*. 3a ed. Guatemala: Imprenta Universitaria, 2015. 276 p.
8. VALDEZ CANCINOS, David. *Manual para el cultivo de bambú experiencias en Guatemala*. Guatemala, 2013. 49 p.
9. WANG, Wen-Xiong. *La planificación sobre el diseño de planta del procesamiento de bambú*. Guatemala, 2017. 75 p.
10. WOODS, Rob. *How is Bamboo Flooring Made*. [en línea]. <<https://www.builddirect.com/learning-center/flooring/how-bamboo-flooring-made/>>. [Consulta: 30 de mayo de 2018].