



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE ASTILLAS E  
IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA GENERACIÓN DE PILAS DE ACOPIO DE  
CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN.**

**POR**

**Carlos Joaquín Rodrigo Díaz González**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para  
optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

**Profesor Guía**

**Hernaldo Reinoso Alarcón**

**Profesional Supervisor**

**Ángela Zamorano Aguilera**

**Julio 2022**

**Concepción (Chile)**

**© 2022 Carlos Joaquín Rodrigo Díaz González**

© 2022 Carlos Joaquín Rodrigo Díaz González

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

## **Dedicatoria**

*A mis papas por siempre apoyarme.*

*A mis abuelos por quererme incondicionalmente.*

*A mis hermanas por estar siempre conmigo.*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer primero que todo a mis papas los cuales ambos me apoyaron durante el transcurso de toda mi vida, ayudándome, entregándome valores y enseñándome aun estando cansados después del trabajo. A mis hermanas, Pacy y Leo, las cuales me han acompañado durante el transcurso de mi vida, espero ser un buen hermano para ustedes y apoyarlas en lo que necesiten. A mis abuelos, por quererme incondicionalmente, buscarme después del colegio cuidarme cuando mis papas iban a trabajar, y a que su apoyo emocional ha sido algo que me ha ayudado en los momentos en que he sentido que la cosa se ha vuelto difícil. Y a mis tías y tíos por siempre estar conmigo y darme consejos cada vez que han podido. A mi tía Odilia que siempre me visito en navidad y se preocupó por mí y a todos los que por algún motivo se fueron antes de tiempo,

También quiero agradecer al equipo docente de la Universidad de Concepción el cual ayudo en mi formación como profesional entregando las herramientas y el conocimiento que actualmente poseo. En especial quiero agradecer al profesor Hernaldo Reinoso por su ayuda, apoyo y labor docente durante el proceso académico, lo cual llevo a que lo escogiera como mi profesor guía para el desarrollo de esta memoria.

Quiero agradecer a los trabajadores de Arauco de la planta Construcción que me ayudaron y siempre mostraron buena disposición a la hora de entregar información. A mi supervisora Ángela Zamorano que siempre se preocupó por que yo tuviera a disposición todos los recursos disponibles. A Benjamín, Felipe, Daniel, Jorge, don Andrés y don Gabriel que estuvieron conmigo en la sala de estadística e hicieron más ameno el trabajo. A los ingenieros de procesos y trabajadores de Preparación Madera que siempre me ayudaron.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer a mis amigos del colegio Seba, Juan y Medel que siempre han estado conmigo, su compañía a lo largo de los años ha sido un cable a tierra. A Ashley, Franco, Felipe, Gustavo, Martin y Mati con los cuales desarrolle la mayor parte de mi vida académica apoyándonos en todo, no creo poder haber encontrado un mejor grupo de amigos en la vida universitaria y espero que nuestra amistad perdure a través del tiempo.

## Sumario

En planta de celulosa de Arauco en Constitución, la principal materia prima es la madera en astillas, la cual es producida dentro de la planta mediante el picado de rollizos o es comprada a proveedores externos, para luego almacenarla en distintas pilas de acopio. Para poder llevar un manejo de inventario se realiza un balance donde se calcula el peso seco del total de las astillas que se tienen en stock junto con una topografía aérea que mide el volumen de las pilas de acopio. Dicho esto, existe una inquietud dentro de la planta debido a que ambos métodos entregan resultados distintos, por lo que se pidió realizar una revisión del proceso general, identificando sus pérdidas y las variables más importantes con el fin de actualizar los factores de pérdida y proponer una mejora al balance existente y unificar los distintos balances llevados por las Superintendencias.

Para poder desarrollar este trabajo se utilizaron métodos de mejora continua donde fue necesario la recopilación de información desde distintas fuentes para lograr una mejor comprensión del proceso general. Se realizaron entrevistas a trabajadores de la empresa, tanto a operadores como a ingenieros de proceso y estadísticos, los cuales aportaron con su conocimiento y ayudaron en la recolección de los datos necesarios para poder realizar cálculos y supuestos, además de la resolución de dudas. Se realizaron diagramas con tal de poder identificar el proceso junto con sus pérdidas. También fue necesario la búsqueda de información bibliográfica sobre lenguajes de programación como VBA y SQL para el manejo de datos y sobre unidades de medida forestales las cuales se utilizan para cubicar la madera, entre otros.

Finalmente, luego del desarrollo de esta memoria los objetivos cumplidos corresponden a la identificación del proceso general y sus pérdidas, junto con la actualización de los factores de pérdida de los procesos de harneo y descortezado calculados mediante a los datos de pilas de ensayo obtenidos mediante topografías con la creación y propuesta de un nuevo balance el cual reduce el tiempo de trabajo, integra nuevos datos de interés y unifica los distintos balances realizados por las distintas Superintendencias dentro de la planta

## Summary

At Arauco's pulp mill in Constitución, the main raw material is wood chips, which are produced at the mill by chopping logs or purchased from external suppliers and then stored in different stockpiles. In order to keep an inventory, a balance sheet is drawn up to calculate the dry weight of the total wood chips in stock together with an aerial topography that measures the volume of the stockpiles. That said, there is a concern within the plant because both methods give different results, so a review of the overall process was requested, identifying its losses and the most important variables in order to update the loss factors and propose an improvement to the existing balance and unify the different balances carried by the Superintendencies.

In order to develop this work, continuous improvement methods were used where it was necessary to gather information from different sources, both to achieve a better understanding of the overall process. Interviews were conducted with different workers of the company, both with operators and with process engineers and statisticians, who contributed with their knowledge and helped in the collection of the necessary data to be able to make calculations and assumptions, in addition to the resolution of doubts. Diagrams were made in order to be able to identify the process together with its losses. It was also necessary to search for bibliographic information on programming languages such as VBA and SQL for data management, and on forest units of measurement used to cube the wood, among other.

Finally, after the development of this report, the objectives achieved correspond to the identification of the general process and its losses, together with the updating of the loss factors of the fleshing and debarking processes calculated by means of test pile data obtained through topographies, together with the creation and proposal of a new balance sheet which reduces work time, integrates new data of interest and unifies the different balance sheets carried out by the different Superintendencies within the plant.

## Tabla de contenidos

1	Introducción .....	1
1.1	Justificación del tema .....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Resultados Esperados .....	3
1.4	Estructura del informe .....	3
2	Antecedentes de la empresa .....	4
2.1	Planta Constitución.....	4
2.2	Merma de astilla generada en piso .....	10
2.3	Balances.....	11
2.4	Topografía .....	12
2.5	Diferencias entre el balance y la topografía .....	14
3	Marco Teórico .....	16
3.1	Diagrama de procesos.....	16
3.2	Diagrama de Pareto .....	18
3.3	Diagrama de Ishikawa .....	19
3.4	<i>Open Database Connectivity (ODBC)</i> .....	21
3.5	Cubicación de la madera, densidad básica y humedad.....	23
4	Desarrollo .....	26
4.1	Diagramas del proceso.....	26
4.2	Diagrama de Pareto .....	29
4.3	Diagrama de Ishikawa .....	30
4.4	Comparación de balances sin usar ajustes topográficos.....	32
4.5	Estacionalidad y tendencia .....	34

4.6	Actualización de factores de pérdida.....	34
4.7	Utilización de factores actualizados .....	40
4.8	Balances de otras Superintendencias .....	41
4.9	Propuesta de mejora al balance existente .....	42
4.10	Construcción del nuevo balance .....	44
5	Discusión y conclusiones .....	48
5.1	Metodología utilizada.....	48
5.2	Resultados obtenidos .....	49
5.3	Dificultades y limitaciones del proyecto .....	50
5.4	Recomendaciones .....	50
5.5	Conclusiones.....	51
	Glosario .....	53
	Referencias .....	54
	Anexo A: .....	56
	Anexo B: .....	57
	Anexo C: .....	59
	Anexo D .....	61
	Anexo E.....	62



## Lista de Tablas

<b>Tabla 2.1 Superficie de canchas principales de acopio de rollizos.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2.2 Superficie de canchas extra de acopio de madera.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2.3 Tamaño de orificios dentro de bandejas de harneros.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 2.4 Aporte de Astilla Externa a las distintas calidades de celulosa.....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 2.5 Diferencia entre Stock SAP y topografías de astillas en Tse.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 3.1 Simbología de diagrama de flujo de proceso.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 3.2 Simbología utilizada para diagramas de equipos.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3.3 Factores de conversión de medidas forestales.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 4.1 Ubicación de los pesómetros en el proceso y su medición.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 4.2 Determinación de factores de pérdida por medio de pilas de ensayo.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 4.3 Calculo de las diferencias de stock con base en distintos escenarios.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 4.4 Variables necesarias en el nuevo balance junto con su fuente de origen.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4.5 Columnas obtenidas de la tabla TE_LAB_VALUES mediante el comando C2.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4.6 Columnas obtenidas de la tabla TE_LAB_HEADER mediante el comando C2.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 4.7 Datos para establecer la conexión por medio de la ODBC.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla B.1 Densidad básica mensual de las astillas dentro de la planta.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla B.2 Porcentaje seco mensual de las astillas dentro de la planta.....</b>	<b>58</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1 Área Preparación Madera .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 2.2 Área Fibra .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.3 Fotografía panorámica de la topografía de astillas .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3.1 Ejemplo de diagrama Ishikawa con el método de las 6 M.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3.2 Ejemplo de la arquitectura de una ODBC .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4.1 Diagrama general del proceso de generación y acopio de astillas.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4.2 Diagrama de proceso de generación de astilla interna.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 4.3 Diagrama del proceso de acopio de astilla externa dentro de planta.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 4.4 Grafico de Pareto del proceso de contabilización de astillas .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 4.5 Diagrama Ishikawa con el método de estratificación para el proceso de contabilización de astillas .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 4.6 Comparación de Stocks sin usar ajustes topográficos.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura A.1 FAC y FAP de las diferencias de stock dentro de la planta.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura D.1 Interfaz del nuevo balance.....</b>	<b>62</b>

## **1 Introducción**

Celulosa Arauco y Constitución es una empresa que se dedica al rubro de la elaboración de pulpa de celulosa, junto con derivados de la madera como madera aserrada y paneles, además de la generación de energía a partir de biomasa. El principal insumo que se utiliza en el proceso de generación de celulosa es la madera en astillas, la cual es obtenida por la empresa mediante el picado de rollizos dentro de la planta o por la compra a proveedores externos. Las astillas, antes de pasar al proceso de cocción dentro de los digestores, son almacenadas en pilas de acopio, las cuales son clasificadas de acuerdo a su procedencia o dependiendo de la calidad de la celulosa a producir.

Para poder llevar un inventario y contabilizar la cantidad de astillas que se tiene actualmente dentro de la planta, la Superintendencia de Procesos realiza un balance de astillas la cual se contrasta con una topografía realizada por una empresa externa, sin embargo, los dos métodos presentan diferencias significativas. En paralelo al balance anterior, existen dos balances adicionales los cuales son ocupados por separado por la Superintendencia de Suministro y la Superintendencia de Madera y Efluentes, los cuales recopilan datos sobre la madera y sobre planes de producción.

Dado lo anterior, dentro de la empresa ha existido la necesidad de generar una investigación del proceso general a fin de identificar las distintas variables del balance de astillas, junto con las pérdidas que se generan en el proceso, para fin de encontrar mejoras al balance actual y unificar los métodos de contabilización de la madera.

Para el desarrollo de esta memoria fue necesario realizar un levantamiento de información dentro de la empresa mediante entrevistas a tanto a ingenieros como a operadores, realizar una recopilación de información y herramientas teóricas, así como prácticas, para el desarrollo del trabajo. Y también fue necesario desarrollar habilidad de programación en lenguaje VBA y SQL para poder acceder a las bases de datos de la empresa y poder manejar la información necesaria para poder desarrollar este informe.

### **1.1 Justificación del tema**

El tema es relevante para la empresa debido a que al no tener identificadas las pérdidas del proceso existe el riesgo de generar más pérdidas de las registradas, involucrando una mala utilización de la materia prima, una menor eficiencia y errores en la cantidad de stock contabilizado.

Además, debido a la gran cantidad de variables que los balances actuales manejan y la gran cantidad de fuentes de las cuales provienen, existe una mayor posibilidad de error al momento de digitar y una gran cantidad de tiempo desperdiciado ineficientemente por lo cual el proponer un nuevo balance ayudara a mejorar estos inconvenientes.

## 1.2 Objetivos

- **Objetivo General**

El objetivo de esta memoria fue realizar un análisis completo al proceso de generación y acopio de astillas de la planta de celulosa de Arauco en Constitución, con el fin de identificar sus pérdidas y entregar aspectos de mejora en la contabilización de astillas.

- **Objetivos Específicos**

Durante el transcurso y desarrollo de esta memoria los objetivos específicos que se cumplieron fueron:

1. Verificar el efecto de los ajustes topográficos realizados
2. Identificación de pérdidas generadas en el proceso y actualización de factores
3. Unificar los balances existentes de las distintas superintendencias de la planta con tal de evitar errores y descuadres.
4. Proponer aspectos de mejora a la cuantificación de la madera.

El enfoque de esta memoria se adecua al manejo y la contabilización de astillas dentro de la planta de celulosa de Arauco en Constitución y se ocupa pensando en la estructura específica de esta planta de celulosa en particular abarcando principalmente las áreas de Preparación Madera y Pulpa al ingreso de digestores. Aunque esta memoria está enfocada en esta planta en específico, cabe decir que es aplicable en otras plantas de celulosa o de otras áreas donde se maneje y acopie astillas, debido a la recopilación de información bibliográfica sobre métodos de identificación de problemas, características de la madera y descripción del proceso general realizados en este informe.

### **1.3 Resultados Esperados**

Por medio de esta memoria se busca obtener información sobre el proceso general por medio de entrevistas hacia el personal de la planta con tal de identificar el proceso general y realizar análisis sobre el efecto del uso de ajustes topográficos a lo largo del tiempo.

Además de lo anterior, se espera lograr identificar las pérdidas que ocurren dentro del proceso, actualizar sus factores, junto con crear escenarios para comprobar su efecto en el balance.

Por último, se espera proponer un nuevo balance que el cual ayude en la tarea de la contabilización de inventario, automatizando partes del proceso de manejo de datos, unificando los distintos balances de stock de madera de las Superintendencia dentro de la planta y agregando mejoras al balance anterior.

### **1.4 Estructura del informe**

El presente informe se divide en una introducción y presentación de los objetivos de la memoria, antecedentes generales de la empresa y del problema para que pueda entenderse de manera clara y concisa las variables que influyen en el proceso.

La siguiente sección consta del marco teórico, el cual recopila la información bibliográfica utilizada para el desarrollo de la memoria, donde se buscaron trabajos anteriores y métodos relacionados al ámbito forestal y a la identificación de problemas.

Luego de esto se muestra el desarrollo de la memoria donde se describe el trabajo realizado adjuntando tablas y diagramas que ayudaron a al planteamiento del problema y sus causas, junto con el cálculo de distintos escenarios, además se realiza el cálculo de factores de pérdida y se propone un nuevo método de cuantificación, por medio de conexiones a las bases de datos.

Los últimos capítulos corresponden a las conclusiones donde se analizan los resultados obtenidos y se realizan algunas recomendaciones de mejora que se lograron observar durante el desarrollo de esta memoria.

## 2 Antecedentes de la empresa

Celulosa Arauco y Constitución S.A., mejor conocida como Arauco, es una empresa surgida de la fusión entre Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. la cual se dedica al rubro de la generación de celulosa y derivados de la madera, además de la producción de energía a partir de biomasa forestal. En 2019 la empresa produjo alrededor de 3,7 millones de toneladas de celulosa blanqueada y sin blanquear de fibra larga, celulosa blanqueada de fibra corta de eucalipto y celulosa *Fluff* con ventas por US\$ 2.372 millones siendo actualmente una de las mayores empresas forestal en todo el mundo, tanto en términos de superficie, rendimiento y producción, contando con un total de más de 10.000 empleados (Arauco, 2019).

Para poder contar con un mejor proceso, Arauco se ha hecho presente dentro de toda la cadena de valor forestal contando con extensas plantaciones de *pinus radiata* el cual corresponde a su mayor materia prima para su proceso productivo.

Actualmente la empresa se ha enfocado en temas de responsabilidad social e innovación generando una gestión sostenible con un manejo eficiente y responsable de los recursos naturales y humanos de los que cuenta, fomentando el cuidado personal y la seguridad de los trabajadores dentro de las plantas.

La innovación ha sido un tema importante para la empresa los últimos años, generando una alta gama de productos con el fin de satisfacer las necesidades de sus clientes en términos de calidad y tratando de no malgastar los recursos dándoles el mayor uso posible dentro del proceso. En temas medioambientales, la empresa se certificó el año 2020 en carbono neutralidad, debido a que su proceso productivo captura mas  $CO_2$  del que emite consecuencia de sus plantaciones de bosque y a las reducciones de emisiones de efecto invernadero que ha tenido los últimos años (Arauco, 2019).

Junto con lo anterior, la empresa cuenta actualmente con diversas plantas dentro y fuera del país, siendo la planta Constitución una de las más antiguas, la cual será descrita a continuación.

### 2.1 Planta Constitución

Esta planta está situada frente al mar en la ciudad de Constitución, región del Maule, con dirección Avenida Mac-Iver N°505 y está enfocada principalmente en la generación de celulosa sin blanquear mediante el proceso kraft, la cual es producida con 3 tipos de calidades X, L y L especial. Estas distintas calidades se utilizan para distintos propósitos como materiales de embalaje, papeles dieléctricos, fibrocementos y otros que se comercializan dentro y fuera del país.

La planta actualmente cuenta con una serie de certificaciones de trabajo y de calidad a nivel nacional e internacional.

La planta cuenta con distintas áreas para desarrollar su proceso productivo, donde las que destacan principalmente dentro del contexto del tema de esta memoria son Preparación Madera y Pulpa, las cuales serán presentadas y descritas a continuación.

- **Área Preparación Madera**

La madera de pino radiata utilizada por la planta entra por medio de camiones a un sistema de recepción llamado romana, el cual consta de una balanza la cual se utiliza para medir el peso de la madera ingresada, además de un sistema de medición volumétrico llamado Logmeter (Taller de Producción Forestal, 1991), el cual por medio de láser mide el volumen bruto de la madera utilizando medidas de volumen forestales como metro ruma (*MR*) y  $m^3$  estéreo ( $m^3 st$ ) los cuales son convertidos por factores de conversión a metro sólido sin corteza (*mss*). La madera que ingresa lo hace de 3 formas las cuales son en rollizos, en astillas externa y en biomasa.

La planta cuenta actualmente con 14 canchas que sirven para el acopio de rollizos donde estos se van aperchando en columnas para contar con inventario en caso de que se necesite picar madera y en total se pueden acumular un total de 62.400 *MR*. Estas canchas son manejadas por una empresa contratista externa llamada Serforcol la cual se encarga de manejar y formar las columnas de acopio e ingresar rollizos a los descortezadores por medio de una grúa hidráulica dependiendo de la demanda por hora que necesite la planta durante un turno. En total las canchas de acopio de madera cuentan con una superficie aproximada de 4,6 hectáreas y se distribuyen según lo observado en la Tabla 2.1.

Además de las canchas mencionadas, la planta cuenta con dos canchas adicionales numeradas 2 y 10, donde la primera es utilizada para almacenar madera de corta estadía, mientras que la cancha 10 es utilizada para camiones con cargas distintas, tal como acopio de madera delgada, madera de baja densidad, madera de alta antigüedad de corte, madera sirex, madera quemada, madera descortezada, entre otros. Las capacidades de almacenamiento de madera de estas canchas se muestran en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.1 Superficie de canchas principales de acopio de rollizos**

<b>Cancha No.</b>	<b>Superficie final (m2)</b>	<b>Volumen en MR</b>	<b>Volumen en mss</b>
1	1800	3200	4800
3	3850	5200	7900
5	4000	6400	9800
6	2400	4700	7100
7	2376	3700	5600
8	3700	4900	7500
9	1850	2000	3000
11	2650	4300	6500
12	2400	3600	5500
13	2650	4300	6500
14	2400	3600	5500
20	8800	14500	22000

Fuente: Elaboración propia con base en manuales de operación de la planta

**Tabla 2.2 Superficie de canchas extra de acopio de madera**

<b>Cancha No.</b>	<b>Superficie final (m2)</b>	<b>Volumen en MR</b>	<b>Volumen en mss</b>
2	846	1700	2600
10	950	300	450

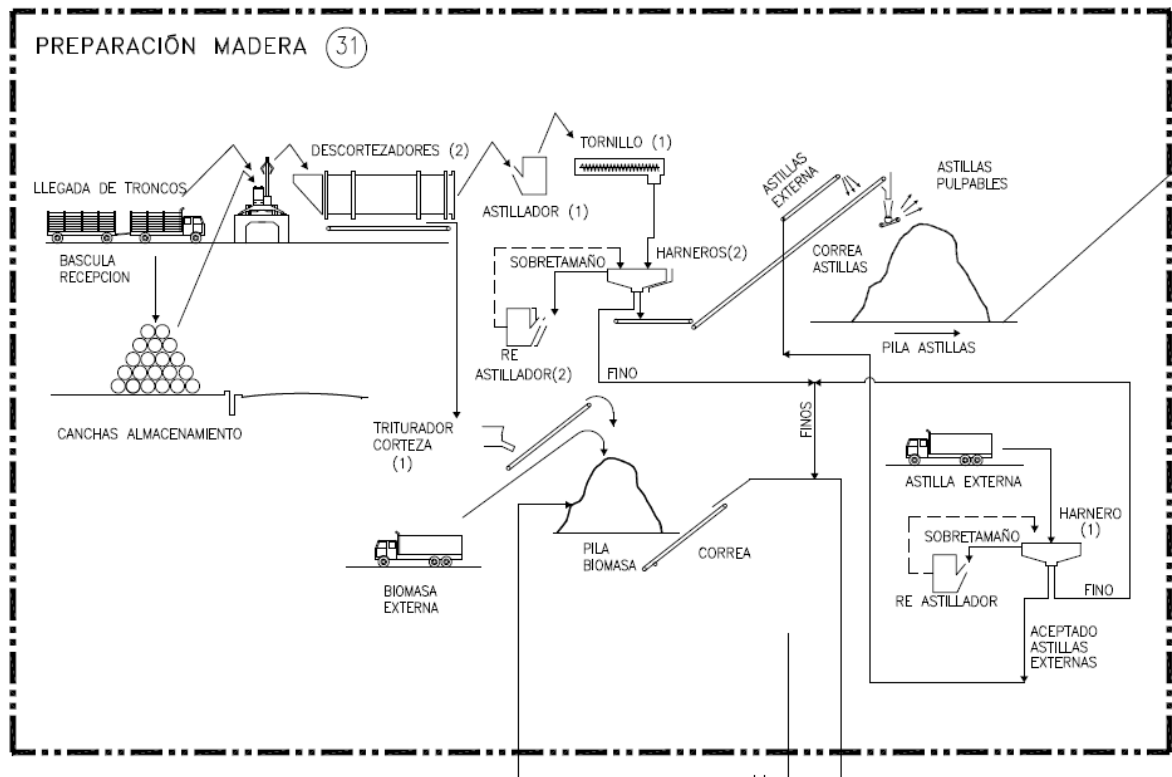
Fuente: Elaboración propia con base en manuales de operación de la planta

Dependiendo de la cantidad de astillas que se necesite, las canchas se van consumiendo, de manera que la madera no este por periodos de tiempo demasiado extensos en inventario. Para esto los operadores de Serfocol mediante camiones y grúas extraen los rollizos de las columnas y los llevan hacia los descortezadores donde empieza el proceso de generación de astillas pulpable. La Figura 2.1 muestra un diagrama resumido del proceso dentro del área de Preparación Madera elaborado por la empresa.

La planta cuenta con 2 descortezadores los cuales se les asigna el código de 31-S-14 y 31-S-15, estos funcionan mediante fricción donde los rollizos que ingresan giran dentro de un tambor lo cual hace que se golpeen unos contra otros, dando como resultado que estos se desprendan de su corteza. El tiempo de permanencia dentro de los descortezadores depende de los operadores que vigilan el proceso, los cuales mantienen los rollizos por tiempos más altos si es que observan a través de cámaras que estos salen con una cantidad considerable de corteza y abren las compuertas de salida conforme lo encuentren prudente. Un tiempo de permanencia alto de los rollizos dentro de los descortezadores



tampoco es algo que se busque, puesto que la corteza empieza a contener cantidades más grandes de madera lo cual no es deseado, ya que esto constituye a una pérdida de madera.



**Figura 2.1 Área Preparación Madera**

Fuente: Celulosa Arauco y Constitución.

El proceso de descortezado es importante, ya que una gran cantidad de corteza en las astillas que alimentan a digestores afecta negativamente la calidad y propiedades de la celulosa producida.

La corteza recolectada sale por correas transportadoras hacia un silo de corteza donde esta se almacena para luego ser mezclada con aserrín y lodos biológicos para formar biomasa la cual será quemada en la Caldera de Poder para generar energía. Antes de ir al silo, la corteza pasa por un triturador para que pueda ser almacenada de mejor manera.

Luego de esto, los rollizos ya descortezados ingresan a un sistema de cadenas y correas, donde estos son lavados con tal de remover la arcilla que pudieran tener, además de pasar por un sensor magnético, con tal de identificar y remover herramientas o trozos metálicos que podrían afectar las cuchillas del Astillador.

El Astillador o *Chipper* es una máquina que funciona por medio de cuchillas las cuales trozan los rollizos para generar astillas, llamadas dentro de la planta astilla interna. Su código dentro de la planta corresponde al 31-S-90. Para su correcto funcionamiento las cuchillas deben ser constantemente cambiadas para lo cual es necesario detener el proceso.

La astilla interna luego de salir del *Chipper* es llevada por un sistema de tornillos hacia los harneros 31-Q-32 y 31-Q-33 los cuales mediante agitación clasifican las astillas en bandejas con orificios de distinto tamaño como se observa en la Tabla 2.3, además cada uno tiene una capacidad de  $620 m^3 st$  de astilla por hora. Las astillas se clasifican en sobre tamaño, sobre espesor, aceptado largo, aceptado corto, pin chip y fino. Los finos o aserrín son llevados por medio de correas transportadoras junto con la corteza, para ser mezclados con la biomasa. Los clasificados con un tamaño sobre el aceptado son llevados a un *Rechipper* 31-S-41 o 31-S-43, dependiendo del harneo del cual salieron para ser triturados hasta alcanzar un tamaño aceptable, luego pasan por un ciclón para ser llevados a un harnero y repetir el proceso. Las astillas que tienen un tamaño aceptado salen por la correa 31-P-34 para ser llevados a la pila de consumo principal.

**Tabla 2.3 Tamaño de orificios dentro de bandejas de harneros**

<b>Bandeja</b>	<b>Tamaño</b>
Sobre tamaño	$45,0 \pm 0,1$ mm
Sobre espesor	$8,0 \pm 0,1$ mm
Aceptado Largo	$13,0 \pm 0,1$ mm
Aceptado Corto	$7,0 \pm 0,1$ mm
Pin Chip	$3,0 \pm 0,1$ mm
Finos	

**Fuente:** Elaboración propia con base en manuales de operación de la planta

Por otro lado, la astilla externa es ingresada por camiones y depositada en una rastra para ser ingresada al proceso o depositada en la cancha 9 o cancha 31-P-81. Esta es transportada por un sistema de cadenas hacia el harnero 31-Q-85 donde se clasifica según su tamaño. Al igual que en los otros harneros los finos son llevados junto con la biomasa y la astilla de mayor tamaño es llevada a un *Rechipper* para ser triturada. La astilla de un tamaño aceptado sale por la correa 31-P-86 la cual se une junto con la correa 31-P-34 en la correa 31-P-36 que forma la pila de consumo principal mediante el *Pile Builder*.

El *Pile Builder* es manejado por los operadores desde la sala de control de Preparación Madera y lanza las astillas para formar las pilas. Las pilas se forman en forma de riñón de tal manera de facilitar su consumo por medio de dos cargadores volvo L-180E y L-180F con baldes de 15 y 13  $m^3st$  de capacidad respectivamente, los cuales recogen astillas y las depositan en una rastra hidráulica, la cual transporta las astillas hacia digestores por medio de correas transportadoras. Su formación depende de la calidad de celulosa que se desea producir, ya que, dependiendo de esta, la proporción de la mezcla de astillas externa e interna cambia debiéndose evitar juntar las distintas mezclas de astillas. La formación de la pila también se ve afectada por las condiciones climáticas, ya que, dependiendo de la velocidad y la dirección del viento, las astillas pueden caer cerca o lejos de la pila. La Tabla 2.4 muestra la proporción de astilla interna y externa que lleva cada calidad de celulosa. La pila principal cuenta con una capacidad operativa de 45.000  $m^3st$  de astillas, contando con una capacidad máxima de almacenamiento 60.000  $m^3st$ .

**Tabla 2.4 Aporte de Astilla Externa a las distintas calidades de celulosa**

Calidad	Aporte de Astilla Externa
X	Máximo 40 %
L	Mínimo 50 %
L especial	Mínimo 60 %

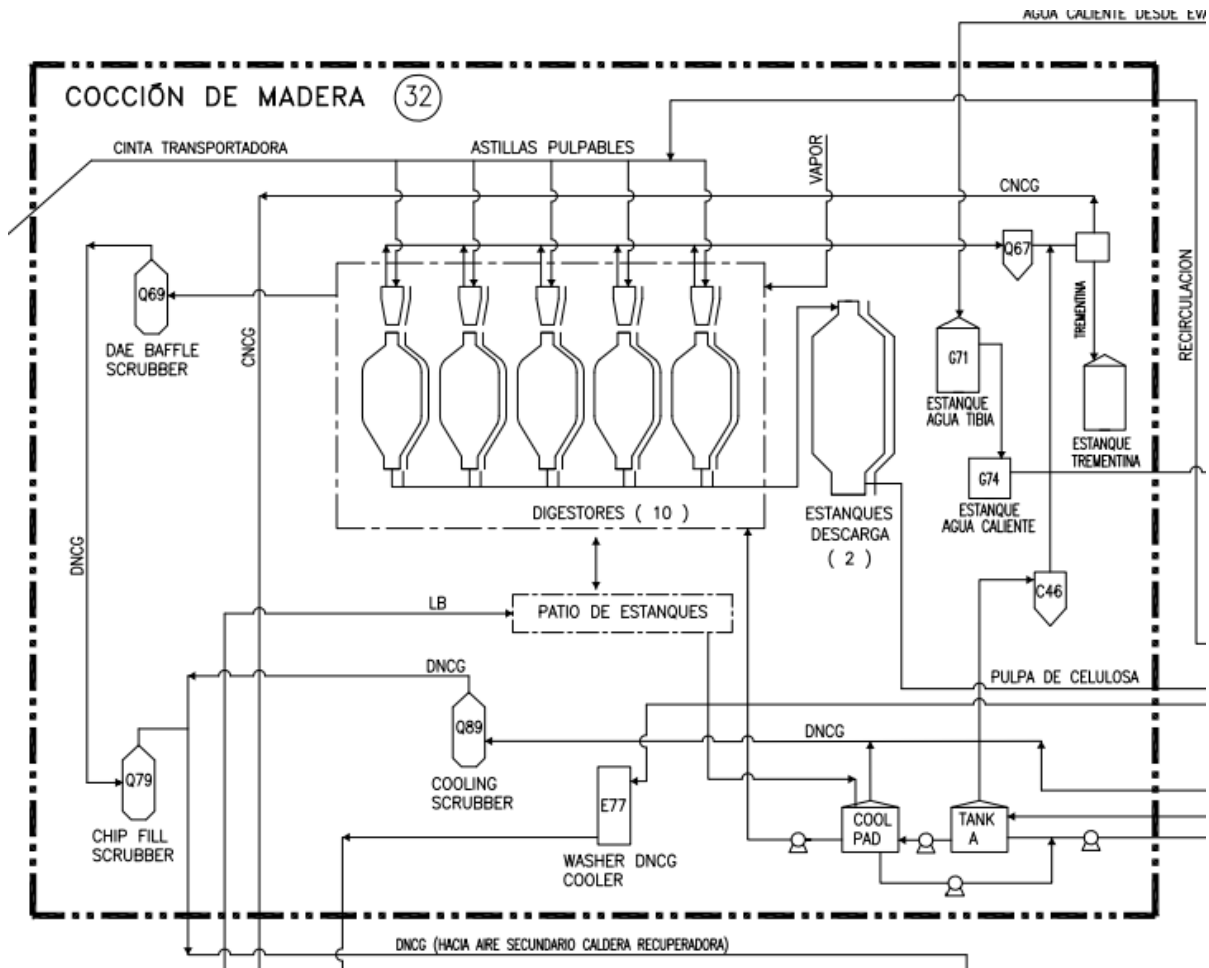
Fuente: Elaboración propia con base en manuales de operación de la planta

La astilla externa proveniente de aserraderos muestra características que la hacen mejor para el proceso debido a que esta corresponde a astilla generada a partir de la madera más cercana a la superficie del rollizo, puesto que en su proceso productivo se ocupa principalmente el corazón de la madera. La astilla externa presenta una mayor densidad básica (ver Tabla B.1 del Anexo B) respecto a la interna que ocupa la totalidad del rollizo y debido a esto, la calidad de celulosa L y L especial presenta una mayor longitud de fibra, lo cual es buscado para dar resistencia a los fibrocementos, mientras que la calidad X que es usada principalmente para el embalaje muestra otras características físico-mecánicas como resistencia a la ruptura, rasgado y a golpes.

- **Área Pulpa**

Luego de ser ingresada a la rastra, las astillas son transportadas por medio de las correas 32-P-17 y 32-P-19 hacia digestores. La planta cuenta actualmente con 10 digestores *Batch* o discontinuos, 9 de ellos con capacidad de 165  $m^3$  y uno con capacidad de 200  $m^3$ . Los digestores realizan la cocción de las astillas por medio de licor blanco y otros reactivos a una temperatura de 155°C y una presión de

900 kPa para separar la lignina de la celulosa. La Figura 2.2 muestra un diagrama resumido del área elaborado por la empresa.



**Figura 2.2 Área Pulpa**

Fuente: Celulosa Arauco y Constitución.

## 2.2 Merma de astilla generada en piso

Una pérdida que actualmente no ha sido considerada corresponde a la merma de astilla en el suelo de las canchas. Esta pérdida suele generarse mayoritariamente por acción del viento y del manejo de la astilla que la esparce a través de la superficie donde esta se encuentra almacenada.

La mayoría de la astilla que ha sido esparcida no se puede recuperar, puesto que al estar cubiertas de tierra o aplastadas no sirven para poder generar una celulosa que cumpla con los requisitos y la calidad que se busca.

Al ser una superficie extensa, la merma acumulada que en un principio puede parecer poca, en realidad puede tratarse de una cantidad considerable, la cual actualmente no está siendo considerada en los balances ni en la topografía realizada.

### 2.3 Balances

Actualmente se llevan balances para poder contabilizar el stock de astillas que se tiene almacenado. Estos son calculados en un archivo Excel llamado Hoja Día y está a cargo del área de Estadística en la Superintendencia de Procesos (SIPRO).

El cálculo del stock diario es llevado en toneladas secas [Tse] mediante la ecuación 2.1. Donde  $t$  corresponde al día:

$$\begin{aligned}
 \text{Stock Pila}_t[\text{Tse}] &= \text{Stock Pila}_{t-1} + \text{Ingreso Astilla a Pila}_t \\
 &\quad - \text{Consumo Digestores}_t - \text{Perd. Descortezado}_t \\
 &\quad - \text{Perd. Harnero}_t
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Conforme a lo anterior, el cálculo del ingreso de astillas a la pila en [Tse] es mediante la ecuación 2.2.

$$\text{Ingreso Astilla a Pila}_t[\text{Tse}] = \text{Madera picada} + \text{Ingreso Astilla Externa} \tag{2.2}$$

La cantidad de madera picada es medida mediante el cálculo de rollizos ingresados a los descortezadores por la empresa Serfocol la cual la informa en  $MR$  y  $mss$  por medio de planillas de operación. Para obtener el peso seco el volumen es multiplicado por la densidad de las astillas, que se obtiene mediante muestras realizadas por operadores de laboratorio a la salida de descortezadores.

Por otro lado, el peso seco de las astillas externas es obtenido mediante la medición del peso húmedo en la recepción por medio de la báscula, multiplicado con los datos de porcentaje seco muestreados de los proveedores.

El cálculo de las pérdidas se realiza mediante factores, donde se identifican 3 tipos de pérdida, las cuales son por descortezado, por harneo de astilla interna y por harneo de astilla externa

La pérdida de descortezado depende de la cantidad de madera picada y corresponde al porcentaje de madera pulpable que termina siendo quemada en la Caldera de Poder y no convertida en celulosa, siendo calculada por un factor como se muestra en la ecuación 2.3.

$$Perd. Descortezado[Tse] = 0,0107 * Madera Picada[Tse] \quad 2.3$$

Por otro lado, las pérdidas correspondientes a harneo, corresponde al aserrín extraído de este proceso, el cual va a parar al ciclo de biomasa para la generación de energía. En este caso, depende de la madera picada y la cantidad de astilla externa ingresada, teniendo diferente factor dependiendo de la procedencia de la astilla. El cálculo de la pérdida de harneo de astilla interna en  $[Tse]$  se realiza como se muestra en la ecuación 2.4.

$$Perd. Harneo Ast Int[Tse] = 0,0168 * Madera Picada \quad 2.4$$

Mientras que para calcular la pérdida de harneo de la astilla externa se utiliza el siguiente factor mostrado en la ecuación 2.5.

$$Perd. Harneo Ast Ext[Tse] = 0,0227 * Ast. Ext Ingresada \quad 2.5$$

Por último, el consumo de digestores se obtiene de la cantidad de  $TH$ , medidos por un pesómetro en la correa transportadora 32-P-19 que conecta a digestores. Para obtener su peso seco en  $[Tse]$ , se multiplica por el promedio móvil del porcentaje en seco de los últimos 7 días de las muestras tomadas de las astillas que alimentan a los digestores, como se muestra en la ecuación 2.6.

$$\begin{aligned} Consumo digestores[Tse] \\ = Consumo digestores[TH] * \%Seco Ultimos 7 dias \end{aligned} \quad 2.6$$

## 2.4 Topografía

Junto con el balance anterior, se lleva a cabo mensualmente una topografía, donde una empresa externa llamada Invesfor realiza una medición del volumen total de las astillas por medio de un dron manejado por un operador. Este corresponde a un volumen bruto en  $[m^3st]$ , el cual debe convertirse a  $mss$  para luego poder ser llevado a  $TSE$  al multiplicarlo por su densidad. La densidad utilizada



## 2.5 Diferencias entre el balance y la topografía

El resultado de las topografías es contrastado con la cantidad de astillas, calculado por medio de los balances, el cual generalmente difiere en cantidades considerables, siendo el valor de la topografía el cual se toma como stock real de ese día. El resultado obtenido por medio de la topografía reemplaza el valor de ese día del balance, por medio de un ajuste. Los resultados del balance y las topografías se pueden observar en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Diferencia entre Stock SAP y topografías de astillas en Tse.**

Fecha topografía	Stock SAP	Stock Topografía	Diferencia	% Diferencia
30-01-2018	7977	8338	361	5%
26-02-2018	13916	13523	-394	-3%
29-03-2018	13180	12187	-993	-8%
27-04-2018	9710	7211	-2499	-26%
30-05-2018	6457	6548	91	1%
28-06-2018	5344	5057	-287	-5%
29-07-2018	3932	3330	-602	-15%
29-08-2018	5905	5781	-124	-2%
25-09-2018	5292	4508	-784	-15%
29-10-2018	8526	6567	-1959	-23%
28-11-2018	8006	6187	-1819	-23%
26-12-2018	7725	7737	12	0%
29-01-2019	5692	3614	-2078	-37%
26-02-2019	5673	5272	-401	-7%
26-03-2019	8493	6578	-1914	-23%
28-04-2018	12604	8523	-4081	-32%
31-05-2019	8133	6858	-1275	-16%
25-06-2019	8684	4921	-3763	-43%
29-07-2019	9697	5385	-4313	-44%
28-08-2019	9959	8110	-1849	-19%
26-09-2019	9127	6098	-3029	-33%
28-10-2019	10748	8847	-1901	-18%
28-11-2019	7126	7039	-86	-1%
29-12-2019	9079	8490	-589	-6%
28-01-2020	11448	9197	-2250	-20%
27-02-2020	5988	5308	-679	-11%
22-03-2020	4552	3555	-997	-22%
27-04-2020	9026	6461	-2565	-28%
27-05-2020	13261	9971	-3290	-25%

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa



Continuación Tabla 2.5

<b>Fecha topografía</b>	<b>Stock SAP</b>	<b>Stock Topografía</b>	<b>Diferencia</b>	<b>% Diferencia</b>
25-06-2020	5773	4670	-1103	-19%
28-07-2020	4238	3281	-957	-23%
27-08-2020	6130	5608	-522	-9%
27-09-2020	2370	3178	808	34%
28-10-2020	13278	12279	-998	-8%
26-11-2020	9044	8523	-521	-6%
28-12-2020	9901	6490	-3411	-34%
27-01-2021	9592	7392	-2201	-23%
24-02-2021	12234	5714	-6520	-53%
28-03-2021	6897	5686	-1211	-18%
28-04-2021	11735	6256	-5479	-47%
27-05-2021	10312	3540	-6772	-66%
28-06-2021	12370	4391	-7978	-64%
28-07-2021	12018	5070	-6949	-58%
29-08-2021	4709	5345	636	14%
28-09-2021	7052	6542	-510	-7%
27-10-2021	8259	8412	153	2%
28-11-2021	3280	4825	1545	47%
28-12-2021	5802	6828	1027	18%
23-01-2022	11091	8887	-2203	-20%
24-02-2022	5548	7531	1983	36%
28-03-2022	4666	6155	1489	32%
27-04-2022	3351	6201	2850	85%

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

### 3 Marco Teórico

En esta sección se explicará el marco teórico y las herramientas utilizadas para el desarrollo del presente informe. A pesar de realizar una exhaustiva revisión de la literatura, no se encontraron trabajos anteriores en donde se haya profundizado en el tema de la contabilización de astillas y sus pérdidas asociadas al proceso de generación y acopio de estas, sin embargo, se encontraron referencias las cuales pudieran ser útiles para la visualización de problemas y la identificación de fallas dentro de los procesos que se pueden aplicar a este tema y utilizarse para la validación de las herramientas usadas dentro del desarrollo de esta memoria.

Junto con esto, también se encontraron referencias bibliográficas en la literatura respecto al proceso forestal en Chile, las cuales ayudan a entender en gran medida las características de la madera y las medidas utilizadas para cubicarla.

Además, fue necesario buscar bibliografía sobre manejo de datos para poder acceder a información histórica de la empresa sobre valores de granulometría, los cuales se utilizaron para el cálculo de escenarios junto con bibliografía sobre conexión hacia bases de datos externas para la creación y propuesta de la mejora del balance actual.

Por último, como se dijo con anterioridad al no existir referencias específicas del tema a resolver, esta sección entrega solo una visión teórica respecto al problema para resolverlo de manera general, mientras que la aplicación práctica de las herramientas utilizadas y sus resultados se mostraran en las secciones siguientes de este informe.

#### 3.1 Diagrama de procesos

Primero que todo, para poder analizar el proceso de generación de astillas y cualquier proceso en general es de vital importancia encontrar métodos que permitan entender y visualizar el problema de la manera más clara posible, por ello fue de vital importancia la utilización de diagramas de flujo de proceso.






El diagrama de flujo de proceso fue presentado por primera vez por Frank y Lillian Gilbreth en la *American Society of Mechanical Engineers (ASME)* en el año 1921 con el fin de mostrar de manera gráfica y simplificada el estado actual y funcionamiento de este, y así presentar opciones de mejora u optimizar puntos de interés dentro del proceso (Gilbreth & Gilbreth, 1921).

Los beneficios de utilizar este diagrama son la facilidad de poder encontrar pérdidas o fallas dentro del proceso, además de que entrega una herramienta fácil de interpretar la cual ayuda a dar seguimiento del proceso general y ayuda a tomar decisiones pudiendo determinar con mayor seguridad las consecuencias que estas generan.

Existen distintos tipos de diagramas de flujo, los cuales pueden ir desde improvisados diagramas hechos en poco tiempo hasta diagramas elaborados. Para crear mayor uniformidad entre estos el *American National Standards Institute* (ANSI) creo una serie de símbolos los cuales representan distintos tipos de trabajos u operaciones que se realizan para la elaboración de un producto, su manejo, acopio o cualquier proceso en general.

Los símbolos actualmente más utilizados en la elaboración de diagramas de flujo se muestran en la Tabla 3.1, junto con su significado (INA, s.f.).

**Tabla 3.1 Simbología de diagrama de flujo de proceso**

Símbolo	Descripción
	Transformación de materia prima
	Inspección de material
	Transporte de material
	Almacenaje de material
	Detención del proceso

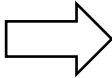
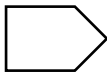
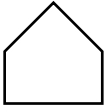
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se crearon dos diagramas los cuales son usados para la identificación de la maquinaria, correas transportadoras y lugares de acopio de la astilla, los cuales en su mayoría cuentan con un código de identificación. El beneficio de esto y el motivo por el cual se crearon estos diagramas fue debido a que dentro de la planta la mayoría de los operarios están más familiarizados con esta terminología, con lo cual, para poder tener una buena comunicación y entender donde se realizan los procesos productivos y poder recabar información de manera correcta era necesario contar con

conocimiento sobre el código de cada máquina, además de poder presentarlos visualmente al momento de realizar entrevistas para poder obtener la información necesaria para el desarrollo del informe. Los símbolos utilizados se muestran en la Tabla 3.2.

La codificación parte con el número del área a la cual pertenece el quipo, seguido por un numero asociado al tipo de equipo que corresponda, por ejemplo, tanque, correa transportadora, entre otros. El último número corresponde al número del equipo dentro del área y generalmente depende de su ubicación dentro del proceso productivo o de la antigüedad del equipo.

**Tabla 3.2 Simbología utilizada para diagramas de equipos**

Símbolo	Significado
	Correa o cadena transportadora
	Equipo o maquina
	Lugar de acopio

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Diagrama de Pareto

Este análisis debe su nombre en honor al economista italiano Wilfredo Pareto que enuncio por primera vez en el siglo 19 un principio del mismo nombre, en el cual se reconoce que el 80% de la problemática en un sistema se debe a causas comunes o situaciones que actúan de manera permanente sobre los procesos. Este diagrama corresponde a un gráfico de barras, el cual ayuda a visualizar los problemas más importantes dentro del proceso con tal de enfocar todos los esfuerzos en las causas más relevantes y no tanto en los elementos que propician poco del efecto total. Además, el diagrama entrega una herramienta simple, la cual fomenta las ganas de solucionar los problemas en la organización en la cual se ocupe, puesto que con un vistazo permite que cualquier persona pueda identificar los problemas principales (Tague, 2004).

Generalmente, el diagrama de Pareto clasifica problemas siguiendo de categorías o factores de interés, donde cada categoría distinta genera un nuevo diagrama.

Para construir el diagrama, es necesario primero la recolección de datos necesarios para el análisis, de acuerdo al enfoque que se le quiera dar al diagrama. Es importante que estos datos sean del mismo periodo y con la misma unidad de medida para todas las variables que se ocupen.

Luego de esto es necesario agrupar los datos de mayor a menor, calcular sus porcentajes de representación con respecto al total de datos y luego calcular sus porcentajes acumulados. Teniendo estos cálculos, lo siguiente consiste en realizar un gráfico de barra donde el eje X agrupa las variables de interés, mientras que el eje Y agrupa su frecuencia y adicionalmente se agrega la curva de porcentaje acumulado. Teniendo el gráfico se pueden realizar los análisis correspondientes.

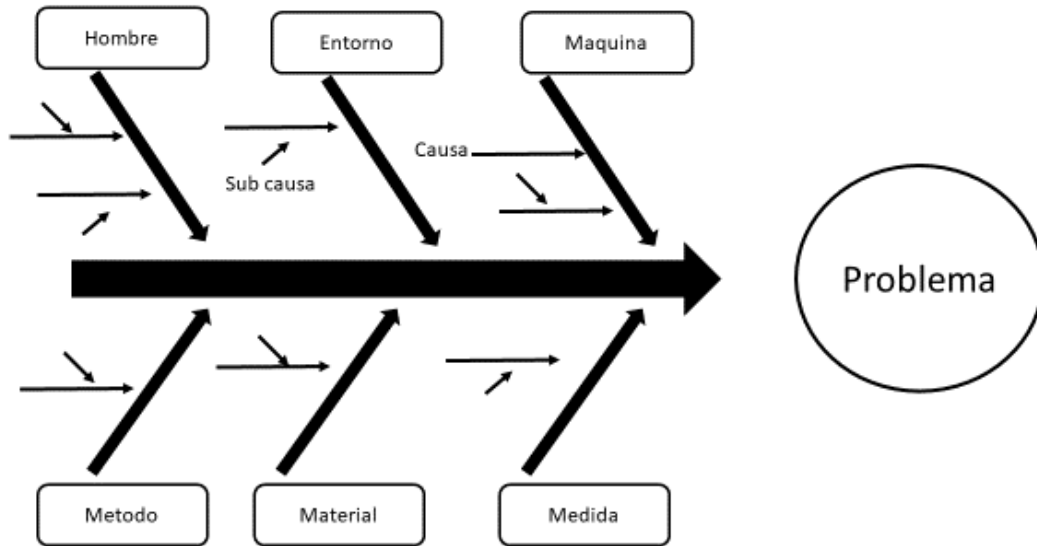
### **3.3 Diagrama de Ishikawa**

Este diagrama también llamado de causa-efecto o espina de pez, es una herramienta de mejora continua, la cual consta de un método gráfico, el cual permite relacionar el problema de interés con los factores o causas que posiblemente lo estén generando (Garza & Sánchez, 2000). Este diagrama junto con el de Pareto, ayuda a visualizar los problemas desde diferentes perspectivas con tal de no obviar su origen y desarrollar una solución que afronte todas las causas posibles que se puedan identificar.

- **Método de las 6 M**

El método de la 6 M es la manera de armar el diagrama de Ishikawa más común, y corresponde en agrupar las causas de los problemas en 6 ramas principales, los cuales son métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Estos se encuentran generalmente en la mayoría de los procesos y aportan en mayor o menor medida la variabilidad que estos puedan tener, por lo que es bastante probable que la causa que detona en algún problema se encuentre dentro de una de las categorías antes mencionadas (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

La Figura 3.1 ejemplifica como debería construirse un diagrama Ishikawa basándose en el método de las 6 M.



**Figura 3.1 Ejemplo de diagrama Ishikawa con el método de las 6 M**

Fuente: Elaboración propia

- **Método tipo flujo del proceso**

En este método, la línea principal del diagrama de Ishikawa corresponde a la secuencia que sigue el proceso durante su ejecución, en donde los factores se van agregando conforme en el orden que siguen durante el proceso. Este método permite observar de mejor manera el proceso general, ayudando a descubrir distintas causas, considerando el proceso completo como posible causa del problema y ayudando a interiorizarse en el proceso, lo cual considera nuevos factores que no se podían observar mediante el método de las 6 M que se mencionó anteriormente (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

- **Método de estratificación o enumeración de causas**

Este método consiste en agrupar directamente las causas principales en distintos grupos permitiendo generar una relación clara entre los distintos factores que podrían estar generando las causas de los problemas dentro del proceso, la generación de este diagrama se lleva a cabo generalmente mediante una lluvia de ideas que permite identificar la relación presente en dichas causas (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

### 3.4 Open Database Connectivity (ODBC)

Para poder recopilar los datos necesarios para la realización de este informe, junto con la creación y propuesta de mejora de un nuevo balance, fue necesario establecer una conexión con las distintas bases de datos de la planta.

Una ODBC es un protocolo de acceso a las bases de datos desarrollado por *SQL Access Group* en 1992 cuyo objetivo consta de hacer posible el acceso a datos externos desde cualquier aplicación.

Para poder establecer la conexión es necesario contar con información de sobre la ODBC, ya sea la dirección del servidor, el nombre de la base de datos, id de inicio de sesión o la contraseña (Microsoft, 2021).

El uso de la ODBC permite el dialogo entre una aplicación y distintas bases de datos con el fin de poder realizar distintas consultas a la base de datos, generalmente en lenguaje de programación SQL permitiendo el intercambio de información y un mejor manejo y gestión de esta.

La arquitectura de una ODBC tiene 4 componentes básicos (Macrovision, s.f.), los cuales corresponde a:

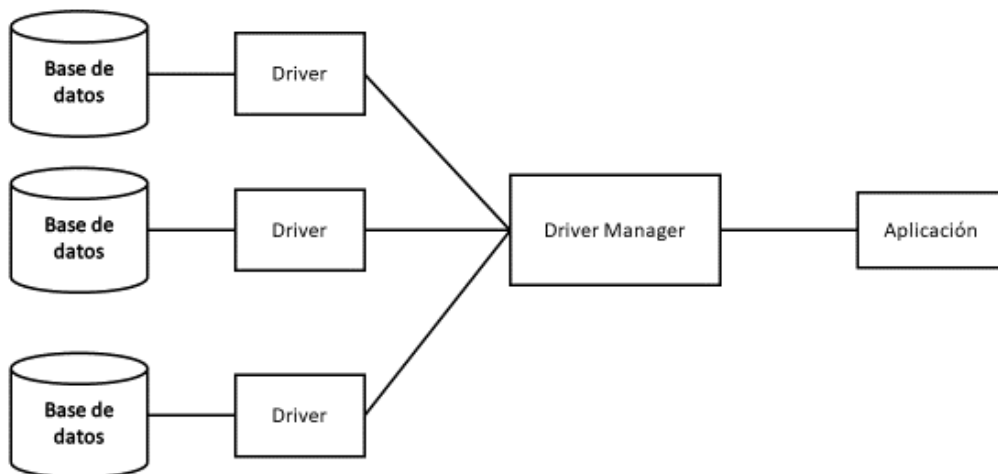
1. **Aplicación:** Se encarga del procesamiento y la realización de llamadas a las funciones de la ODBC, para enviar sentencias en SQL y recuperar los resultados. Además, realiza tareas como solicitar la conexión con la fuente de datos, enviar llamadas, solicitar los resultados, realizar el procesamiento de errores, y finalizar la conexión con la fuente de datos
2. **Driver Manager:** Su propósito principal es cargar *drivers*. Las tareas que realiza son principalmente asignar nombres de una fuente de datos a un *driver* de enlace dinámico (DDL) específico, procesar varias llamadas de inicialización de ODBC, proporcionar puntos de entrada a las funciones de la ODBC para cada *driver* y proporcionar la validación de parámetros y de sentencias para cada llamada de la ODBC.
3. **Driver:** Básicamente procesa llamadas a funciones de la ODBC, enviando solicitudes en SQL a una fuente de datos específica, para luego devolver los resultados a la aplicación. Si es necesario, el controlador modifica la solicitud de la aplicación para que la solicitud se ajuste a la sintaxis admitida por el *Database Management System* (DBMS) asociado.
4. **Fuente de datos:** Consiste en los datos a los cuales el usuario desea acceder junto con su sistema operativo asociado, DBMS y la plataforma de red (en el caso que corresponda) utilizada para

acceder al DBMS. Una fuente de datos es una instancia específica de una combinación de un producto DBMS y cualquier sistema operativo remoto y red necesarios para acceder a él.

Luego, para poder utilizar los orígenes de datos, es necesario establecer una debida conexión y por ello se debe realizar los siguientes pasos (Microsoft, 2021):

1. Instalar el controlador ODBC adecuado en el equipo que contenga el origen de datos
2. Definir un nombre de origen de datos (DSN) usando el Administrador de orígenes de datos ODBC, ubicado en el panel de control, con el fin de almacenar la información de conexión en el Registro de Microsoft Windows, en un archivo DSN o en su defecto en una cadena de conexión en el código de *Visual Basic for Application* para trasladar la información de conexión directamente al Administrador de controladores ODBC.

En la Figura 3.2 se muestra un diagrama ejemplificando el funcionamiento de la conexión y como se relacionan los componentes básicos de la arquitectura de la ODBC que permiten la conexión explicados anteriormente.



**Figura 3.2 Ejemplo de la arquitectura de una ODBC**

Fuente: Elaboración propia



### 3.5 Cubicación de la madera, densidad básica y humedad

Debido a las propiedades de la madera, la cubicación de esta en torno a su pesaje presenta desventajas, puesto que su peso varía dependiendo de factores como la humedad de la madera, el tiempo en el cual esta ha estado almacenado, la estación del año en la que se realice la medición, entre otros. Debido a esto es común que la madera se cubique por medio de su volumen y para ello existen una serie de medidas las cuales son utilizadas por las empresas, principalmente para su comercialización, las cuales serán descritas en detalle a continuación.

- **Metro ruma**

Unidad de comercialización de la madera pulpable, la cual corresponde a un volumen de 2,44 *m* de largo x 1 *m* alto x 1 *m* de ancho. Generalmente esta madera es utilizada para la generación de astillas por medio del picado de rollizos (Souter G.H., Maza R., & Emanuelli A., 2003).

- **Metro sólido sin corteza**

Corresponde a una medida de volumen para la madera y da cuenta de la madera sólida total de las astillas sin volumen de aire denotándose por las siglas *mss* (Smook, 1990).

- **Metro cubico estéreo**

Corresponde al volumen de astillas apiladas que estaría contenida en un cubo de 1 *m* de lado. Este volumen estéreo contiene volumen de madera sólida y aire en proporciones variables (Smook, 1990).

- **Densidad básica**

La densidad básica corresponde a los *kg* de madera en peso seco que se encuentran por metro sólido sin corteza de la misma en un volumen húmedo (Delmastro Naso, Díaz-Vaz O., & Schlatter V., 1982) y se calcula por medio de la ecuación 3.1 presentada a continuación.

$$D \left[ \frac{kg}{mss} \right] = \frac{W_o[kg]}{V_g[mss]} \quad 3.1$$

Donde:

*D*: Densidad básica  $\left[ \frac{kg}{mss} \right]$

*W<sub>o</sub>*: Peso anhidro de la madera [*kg*]

$V_g$ : Volumen de la madera a un contenido de humedad sobre el psf. [mss]

- **Porcentaje de humedad y seco**

El porcentaje de humedad corresponde a la cantidad de agua dentro de las astillas. Para obtener estos datos se realizan generalmente muestras de laboratorio.

Para obtener el porcentaje en seco de la muestra se llena una bandeja con astillas a la cual se le toma su peso, el cual corresponde a su peso húmedo, luego esta es ingresada a una estufa donde permanece 16 horas a una temperatura constante. Finalmente se retira la bandeja de la estufa donde se vuelve a medir su peso (Instituto Forestal, 1967). Tomando estos dos datos se obtiene el porcentaje de humedad de la madera en la bandeja mediante la ecuación 3.2.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{W_1}{W_o} 100\% \quad 3.2$$

Donde:

$W_o$ : Peso anhidro de la madera [kg]

$W_1$ : Peso humedo de la madera [kg]

Luego para obtener el peso seco de la madera en la bandeja se utiliza la ecuación 3.3.

$$\text{Porcentaje de seco} = 1 - \text{Porcentaje de humedad} \quad 3.3$$

- **Factores de conversión**

Las unidades antes mostradas de metro ruma, metro sólido sin corteza y metro cubico estéreo son equivalentes por medio de factores de conversión los cuales son mostrados a continuación en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Factores de conversión de medidas forestales**

Unidad	Equivalente
1 MR	$4 m^3 st$
1 MR	1,569 mss
1 mss	$2,6 m^3 st$ astilla pulpable

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

## 4 Desarrollo

En este capítulo se aplicará la información recolectada en la literatura con el marco teórico y se usará con tal de completar los objetivos especificados en este informe.

Primero que todo, se realizaron distintos análisis con tal de identificar los principales problemas en la contabilización de astillas y las pérdidas del proceso, dentro de los cuales algunos fueron más útiles que otros.

Para ello, fue necesario realizar un levantamiento de información con el fin de poder entender el proceso general, tanto en teoría como en la práctica, así como sus entradas y salidas, junto con las variables más importantes que influyen en este proceso. Por este motivo se realizaron una serie de entrevistas a los distintos trabajadores de la empresa, por medio de distintos métodos ya sea entrevistas agendadas de manera presencial y *online*, conversaciones informales con trabajadores de planta y subcontratados, junto con salidas guiadas a terreno donde se pudo observar el proceso productivo y los equipos utilizados.

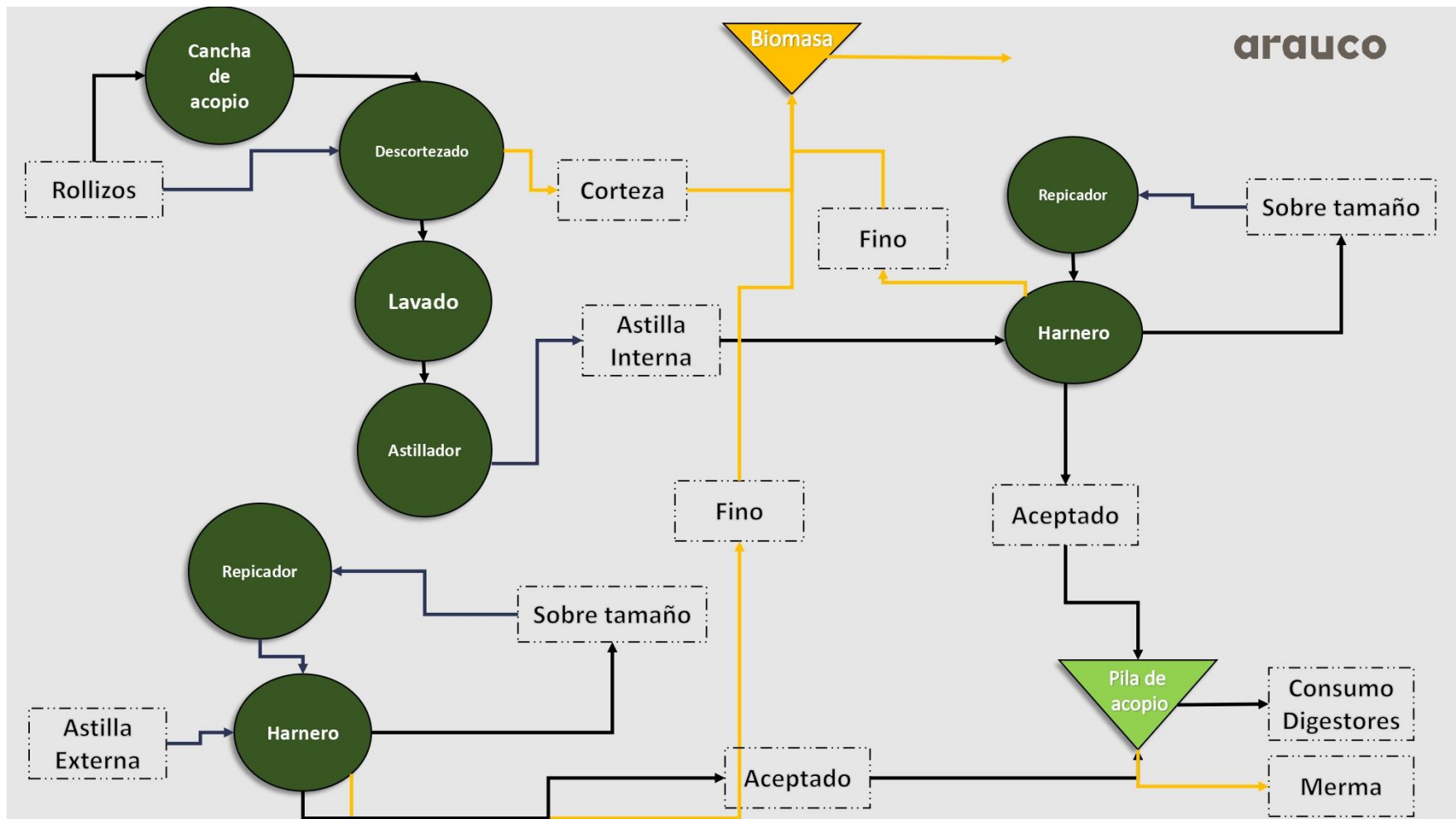
Fue importante realizar una inspección completa del proceso, tanto general como por áreas, ya que este al tener demasiadas variables y al no contar con conocimiento previo sobre estas, los métodos de trabajo, además de escenarios particulares como detenciones de planta afectarían negativamente el desempeño de la memoria y no permitirían observar el problema en su totalidad.

Gracias a la información recolectada, se pudieron realizar los siguientes análisis y se pudieron crear los diagramas que se muestran a continuación.

### 4.1 Diagramas del proceso

Se generó un diagrama del proceso general que recorren las astillas dentro de la planta con tal de identificar de mejor manera las entradas y las distintas salidas que este proceso tiene, el cual se puede observar en la Figura 4.1.

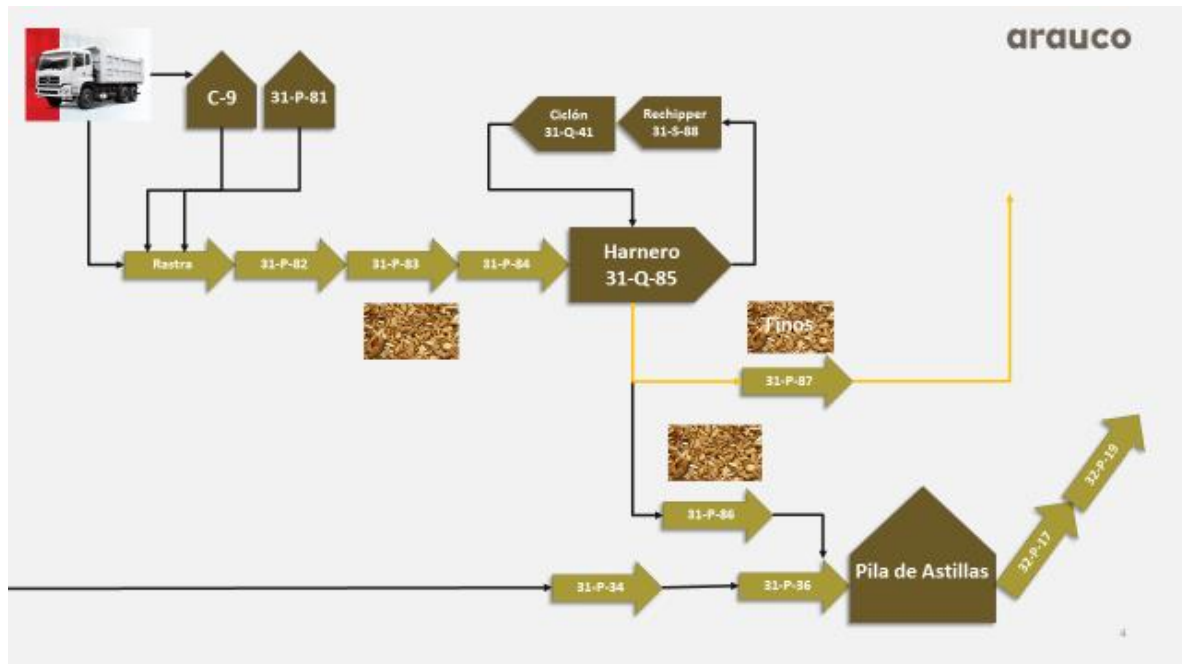
Del diagrama se observa que las entradas que tiene el proceso consisten en la astilla externa y los rollizos que posteriormente serán convertidos en astilla, mientras que las salidas consisten en la astilla que va a para a la pila de astillas, las pérdidas de corteza y aserrín que van al silo de biomasa y la merma de astilla generada en el suelo.



**Figura 4.1 Diagrama general del proceso de generación y acopio de astillas**

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa





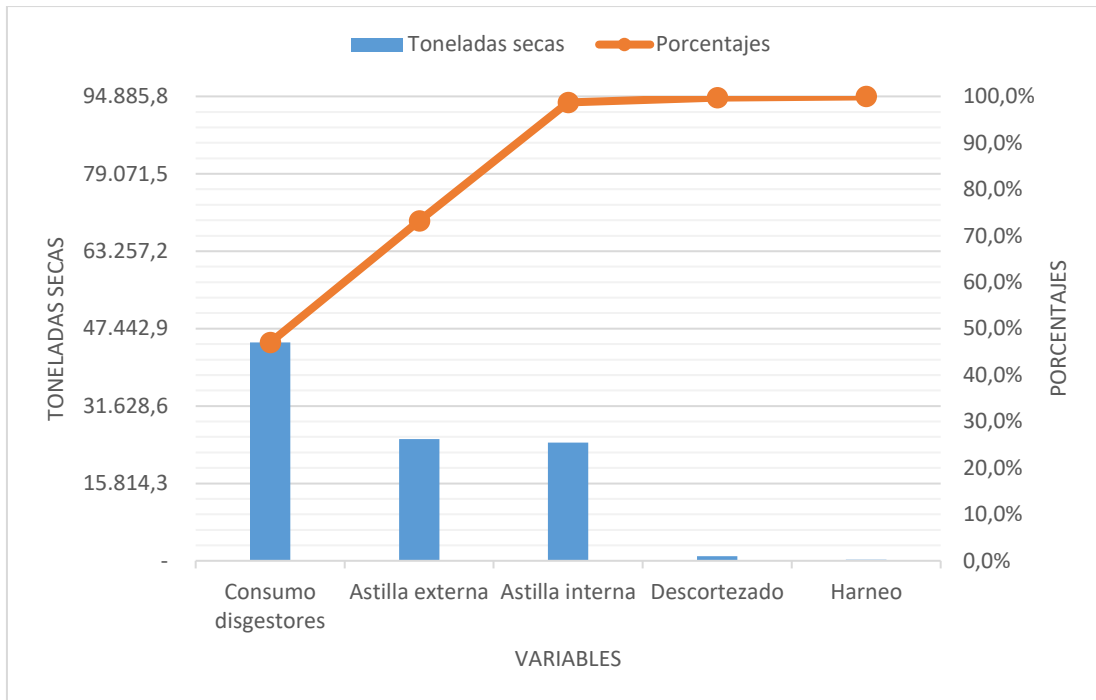
**Figura 4.3 Diagrama del proceso de acopio de astilla externa dentro de planta**

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

## 4.2 Diagrama de Pareto

Al realizar una revisión del balance y para poder observar el efecto de cada variable sobre este, se elaboró un diagrama de Pareto, el cual se observa en la Figura 4.4, utilizando el promedio mensual de toneladas secas que aportó cada variable entre enero y diciembre del año 2021. Las variables que se utilizaron fueron el consumo de digestores, la astilla externa ingresada a planta, la astilla interna producida dentro de la planta, la pérdida por descortezado y la pérdida por harneo

Luego de construido el diagrama, se logra observar que la mayor parte del efecto dentro del balance lo aportan el consumo de digestores, la astilla externa y la astilla interna, mientras que las pérdidas no aportan más de un 2%.



**Figura 4.4 Gráfico de Pareto del proceso de contabilización de astillas**

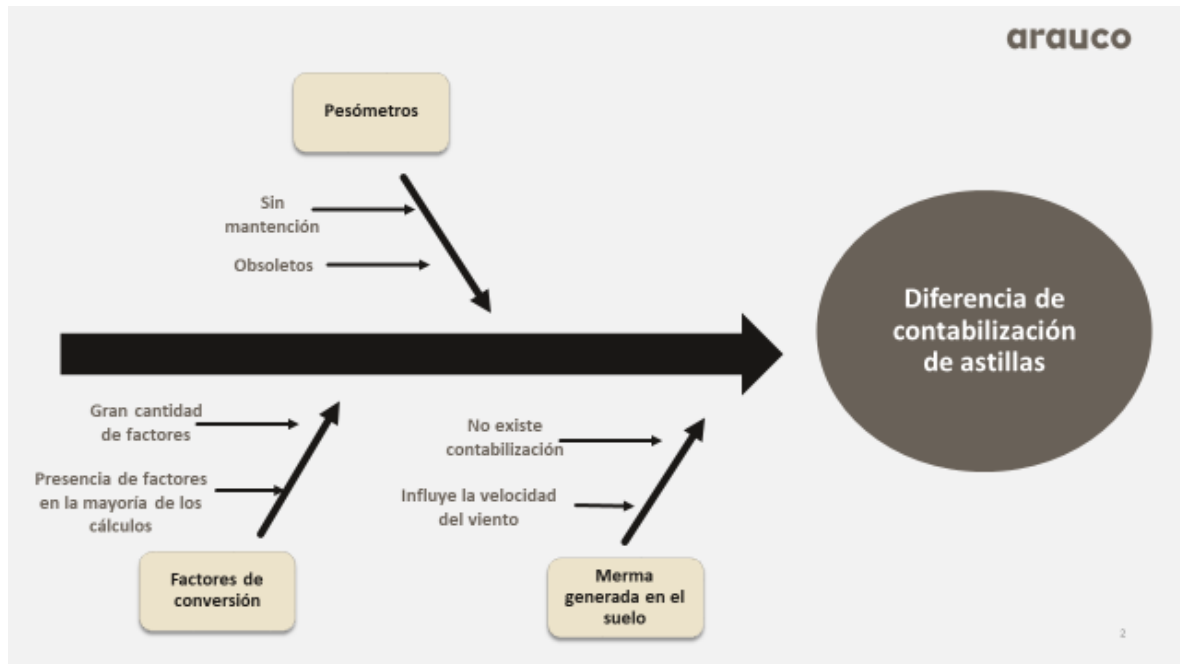
Fuente: Elaboración propia con base en bases de datos de la empresa

### 4.3 Diagrama de Ishikawa

Junto con el diagrama de Pareto anteriormente presentado, se realizó un diagrama de Ishikawa, como se logra observar en la Figura 4.5, con tal de poder dar otro enfoque al problema e identificar nuevas causas que poder medio del diagrama anterior no se habían logrado observar y así identificar la causa de la diferencia de resultado entre el balance y las topografías.

El diagrama se realizó siguiendo el método de estratificación, mediante una lluvia de ideas, donde se pudo identificar tres posibles causas de la diferencia relacionado a los pesómetros, los factores de conversión utilizados y la merma generada en el piso en el proceso que actualmente no se está contabilizando.





**Figura 4.5 Diagrama Ishikawa con el método de estratificación para el proceso de contabilización de astillas**

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa.

**Factores de conversión:** Como se dijo anteriormente, la cubicación de la madera se realiza mayormente en unidades volumétricas, debido a que el peso de la madera varía dependiendo de la humedad y del tiempo que pase está dentro de las canchas. Para poder llegar al resultado final y poder calcular la cantidad de toneladas secas que se tiene en inventario es necesario realizar una serie de pasos por medio de estos factores, lo cual a simple vista parece un proceso el cual puede llevar a confusión y puede llevar a variar los cálculos dependiendo de cómo se utilicen.

**Merma generada en el suelo:** Como se mencionó anteriormente, la merma generada en el suelo es debido a que la astilla tiende a esparcirse a través del suelo de las canchas contaminándose con tierra y por ende no puede ser utilizada dentro del proceso, lo cual corresponde a una pérdida que actualmente no ha sido considerada en el balance. Los factores que más contribuye a aumentar la merma son la velocidad del viento el cual juega un papel importante, puesto que dificulta la dirección de lanzamiento que se le da al *Pile Builder* propiciando que la astilla tienda a caer a los alrededores de la pila contrario a lo que se desea y la cantidad de paladas que se usan para alimentar las rastras, puesto que el cargador volvo tiende a botar al suelo una pequeña cantidad de astilla en el recorrido desde que recoge la astilla hasta que la deposita en la rastra, la cual a la larga se convierte en una cantidad considerable de astilla perdida que no se está contabilizando.

**Pesómetros:** Dentro del proceso existen pesómetros en las correas transportadoras, los cuales no han recibido mantención ni calibración, por lo que actualmente no se están utilizando, encontrándose en desuso.

**Tabla 4.1 Ubicación de los pesómetros en el proceso y su medición.**

Correa	Medición
31-P-55	Corteza salida de los descortezadores
31-P-92	Astillas salidas del Chipper
31-P-34	Astilla interna salida de harneros
31-P-36	Total de astillas a la pila
32-P-19	Alimentación a digestores

Fuente: Elaboración propia con base en manuales de operación de la planta.

La justificación que entrego el Jefe de electrocontrol del área, en una entrevista que se realizó para investigar sobre este tema, fue que debido a que la falta de mantención de los pesómetros no corresponde a una causa de detención del proceso ha hecho que no se le haya dado el énfasis correspondiente a lo largo del tiempo, además de que gran parte de la maquinaria se encuentra obsoleta por lo que es necesario la compra de nuevos equipos, si es que se quiere contar con dicha medición.

El único pesómetro que actualmente se encuentra funcionando es el ubicado en la correa 32-P-19, y debido a que el dato que entrega es utilizado para el cálculo de la astilla consumida por *ADT* de celulosa producida, se le hacen mantenciones periódicas en la PGP (Parada General de Planta). El proceso de calibración es por medio de una empresa externa la cual debe contar con trazabilidad, para cumplir con las certificaciones correspondientes.

#### **4.4 Comparación de balances sin usar ajustes topográficos**

Con el fin de resolver la inquietud de la empresa y analizar los resultados que entrega el balance por sí solo, sin los ajustes topográficos, se crearon escenarios en donde estos ajustes no se realizan, para esto se recopilamos datos desde febrero de 2020 hasta abril de 2022.

Para poder realizar el análisis se creó un gráfico por medio del programa Gretl, el cual se observa en la Figura 4.6, y se formularon 3 escenarios distintos, con tal de observar su comportamiento a lo largo del periodo de análisis. El primer escenario (verde) representa la cantidad de stock en [Tse] de astillas almacenado en la planta a lo largo del tiempo utilizando el método actual con ajustes topográficos a través de los meses. El segundo escenario (azul), corresponde al stock calculado utilizando los balances sin realizar los ajustes topográficos desde el día 28 de enero de 2021, mientras que el tercer escenario (naranja), corresponde al stock calculado utilizando los balances sin ajustes topográficos desde el día 23 de febrero de 2020.

Como se logra observar en el gráfico, existe una considerable diferencia entre los stocks dependiendo de la utilización o no de los ajustes. El gráfico muestra que, por medio de solo los balances, el stock de astillas dentro de la planta tiende a aumentar de manera desenfrenada, llegando a ser 10 o 12 veces mayor al stock presentado en otras épocas del año lo cual no corresponde con la realidad observada ni con la capacidad operativa correspondiente a la superficie del área de Preparación Madera. En base a esto, se puede inferir que la forma más estable de cuantificar las astillas es mediante los ajustes de stocks calculados mediante topografías.



**Figura 4.6 Comparación de Stocks sin usar ajustes topográficos**

Fuente: Elaboración propia con base en bases de datos de la empresa

Pese a que la mayor parte de las veces la diferencia tiende a ser variable entre positiva y negativa, el gráfico muestra que en el periodo de observación el stock calculado por medio de balances tiende a ser mayor a lo observado mediante topografías, lo cual es un tema el cual se debe considerar.

#### **4.5 Estacionalidad y tendencia**

A las diferencias observadas en la Tabla 2.5, se les intento realizar un análisis con el fin de comprobar si estas diferencias presentaban un componente estacional, debido a que ciertas variables presentes en las astillas, como los factores de humedad y seco, que se observan en la Tabla B.2 del Anexo B, cambian dependiendo de la estación del año en la cual se realice la medición, tal que existía la hipótesis, por parte del equipo de trabajo dentro de la planta, de que dichas variables podían contar con un componente estacional.

Para comprobar esta hipótesis, se realizó mediante el programa Gretl una FAC y una FAP de estas diferencias con tal de observar la presencia de auto correlación estacional dentro de dicha serie, las cuales se observan en la Figura A.1 del Anexo A.

Pese a las suposiciones, se observó que la serie no presentaba un comportamiento estacional, por lo que se desestimó seguir con dicho análisis.

#### **4.6 Actualización de factores de pérdida**

Otra inquietud del equipo de trabajo dentro de la planta era la no actualización de los factores de pérdida dentro del proceso. Como se mencionó anteriormente existen dos pérdidas que se consideran actualmente en el balance, las cuales son las ocurridas por el proceso de descortezado y de harneo de donde se extrae corteza y aserrín respectivamente y los cuales van a parar al ciclo de la generación de energía por parte de biomasa y no a la generación de astilla pulpable.

El cálculo de cuanta corteza y aserrín se extrae de estos dos procesos se realiza mediante factores fijos, los cuales no han sido actualizados desde el año 2014 y se observan en las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5 de la sección 2.

Actualmente se han estado realizando pilas de ensayo, compuestas de la corteza y el aserrín generada de aproximadamente 4 horas de picado de mezcla entre astilla interna y externa en el proceso, 1 hora de picado sin mezcla y 2 horas de solo astilla externa. Estas pilas de ensayo son medidas en volumen

en la topografía que se realiza mensualmente, con lo que se han obtenido muestras de los flujos de astillado que pueden usarse para actualizarse estos factores.

Concretamente, se han generado 4 pilas las cuales corresponde a una de corteza, una de aserrín con el aporte de astilla externa e interna, una de aserrín proveniente solo de astilla interna y una de aserrín proveniente de astilla externa.

El cálculo para la determinación de los factores de pérdida corresponde al mostrado en la ecuación 4.1, donde se divide el volumen de la topografía de la corteza por el volumen de la madera picada para la formación de la pila.

$$\% \text{ Porcentaje de corteza} = \frac{\text{Topografía corteza}(m^3 \text{ st})}{\text{Picado madera}(MR) * 4} 100\% \quad 4.1$$

Donde el picado de madera debe ser convertido de metro ruma a volumen estéreo por medio de su factor de conversión.

Junto con las pilas se realizaron estudios de laboratorio con tal de observar la cantidad de madera pulvable presente en la corteza, la cual constituye a una pérdida del proceso, ya que corresponde a madera que no se transforma en celulosa y se quema para la generación de energía.

Con el porcentaje de madera en la corteza, se puede calcular la cantidad el porcentaje de pérdida en el descortezado por medio de la ecuación 4.2, donde se obtiene el total de madera pulvable presente en la pila de corteza y se divide el volumen de madera picado para generar dicha pila.

*% Perdida en descortezado*

$$= \frac{\text{Topografía de corteza}(m^3 \text{ st}) \frac{\% \text{ Madera en corteza}}{100}}{\text{Madera Picada}(MR) * 4} * 100\% \quad 4.2$$

Por último, para calcular las pérdidas asociadas al proceso de harneo debe usarse el volumen de las pilas de aserrín y dividirlo por el volumen de astilla externa ingresada como se muestra en la ecuación 4.3.

$$\% \text{Perd Harneo Ast. Ext.} = \frac{\text{Topografía Aserrin Ast Ext}}{\text{Ast Ext ingresada}} \quad 4.3$$

Mientras que para la astilla interna se usa la ecuación 4.4 dividiendo el volumen de la pila de aserrín de astilla interna por el volumen de astilla interna picada.

$$\%Perd\ Harneo\ Ast.\ Int. = \frac{Topografia\ Aserrin\ Ast\ Int}{Ast\ int\ Picada} \quad 4.4$$

De esta forma, luego de realizado los cálculos, utilizando las ecuaciones anteriormente mostradas, se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se muestran en la Tabla 4.2.

Por medio de los cálculos, se pueden obtener estimativos de los porcentajes pérdidas generadas en los distintos procesos, durante periodos de tiempo, que más adelante se utilizaran para recalcular los balances y para una posterior comparación.

Tabla 4.2 Determinación de factores de pérdida por medio de pilas de ensayo

Fecha	Pila	Picado Rollizo (MR)	Astilla Ext (m3st)	Topografía Corteza (m3st)	Topografía Aserrín (m3st)	Astilla Int (m3st)	% Corteza	% Pérdida Madera Pulpable en Corteza	% Pérdida Descortezado	% Pérdida Harneros
01-06-19	Mezcla	403	411	86,02	36,84	1525,98	5,34	15,54	0,83	1,90
30-07-19	Mezcla	389	866	66,02	40,23	1489,98	4,24	11,95	0,51	1,71
30-07-19	Ast Int.	93,9			10,61	375,60				2,82
29-08-19	Mezcla	372,11	592,78	74,35	29,09	1414,09	5,00	13,24	0,66	1,45
29-08-19	Ast Int.	100,67	160,37		11,57	402,68				2,05
26-09-19	Mezcla	381,16	180	103,94	44,48	1420,70	6,82	21,43	1,46	2,78
26-09-19	Ast Int.	100,88			10,39	403,52				2,57
29-10-19	Mezcla	391,15	415,63	100,14	57,96	1464,46	6,40	15,54	0,99	3,08
29-10-19	Ast Int.	80,39			11,02	321,56				3,43
28-11-19	Mezcla	392,41	338,62	115,66	32,17	1453,98	7,37	2,57	0,19	1,79
28-11-19	Ast Int.	100,85			7,05	403,40				1,75
30-12-19	Mezcla	320,00	816	122,72	40,79	1157,28	9,59	9,61	0,92	2,07
30-12-19	Ast Int.	80,00			4,82	320,00				1,51
27-02-20	Mezcla	383,07	998,99	66,51	42,81	1465,77	4,34	3,12	0,14	1,74
27-02-20	Ast Int.	100,37			7,13	401,48				1,78
28-04-20	Mezcla	373,79	989,82	77,19	39,27	1417,97	5,16	24,09	1,24	1,63
28-04-20	Ast Int.	85,21			14,36	340,84				4,21
28-05-20	Mezcla	344,28	903,63	101,11	63,58	1276,01	7,34	16,71	1,23	2,92
28-05-20	Ast Int.	91,16			6,14	364,64				1,68
26-06-20	Mezcla	408,42	1089,23	102,28	49,67	1531,40	6,26	3,57	0,22	1,90
26-06-20	Ast Int.	100,83			12,07	403,32				2,99
29-07-20	Mezcla	416,19	192,00	125,23	44,54	1539,53	7,52	12,31	0,93	2,57
29-07-20	Ast Int.	109,73			24,99	438,92				5,69
28-08-20	Mezcla	156,06	1188,00	27,16	19,27	597,08	4,35	10,86	0,47	1,08
28-08-20	Ast Int.	100,00			7,95	400,00				1,99

Fuente: Elaboración propia con base en valores de topografías

Continuación Tabla 4.2

Fecha	Pila	Picado Rollizo (MR)	Astilla Ext (m3st)	Topografía Corteza (m3st)	Topografía Aserrín (m3st)	Astilla Int (m3st)	% Corteza	% Pérdida Madera Pulpable en Corteza	% Pérdida Descortezado	% Pérdida Harneros
28-09-20	Mezcla	239,23	1440,00	52,75	39,16	904,17	5,51	15,92	0,88	1,67
28-09-20	Ast Int.	59,32			7,00	237,28				2,95
29-10-20	Ast. Ext.		727,73		9,11					1,25
27-11-20	Mezcla	241,35	1455,56	55,5	45,33	909,90	5,75	25,48	1,46	1,92
27-11-20	Ast. Ext.		730,60		4,08					0,56
27-11-20	Ast Int.	61,31			3,58	245,24				1,46
29-12-20	Mezcla	240,52	1467,51	39,51	30,87	922,57	4,11	20,70	0,85	1,29
29-12-20	Ast. Ext.		720,00		8,34					1,16
29-12-20	Ast Int.	60,00			1,50	240,00				0,63
28-01-21	Mezcla	200,69	1517,85	38,95	41,53	763,81	4,85	11,09	0,54	1,82
28-01-21	Ast. Ext.		762,58		13,63					1,79
28-01-21	Ast Int.	50,00			4,57	200,00				2,29
25-02-21	Mezcla	201,32	1228,57	44,48	47,32	760,80	5,52	34,38	1,90	2,38
25-02-21	Ast. Ext.		602,16		5,05					0,84
25-02-21	Ast Int.	50,00			2,93	200,00				1,47
29-03-21	Mezcla	380,00	1248,00	78,88	48,36	1441,12	5,19	22,06	1,14	1,80
29-03-21	Ast. Ext.		624,00		11,12					1,78
29-03-21	Ast Int.	95,00			11,77	380,00				3,10
29-04-21	Mezcla	381,73	1282,89	80,25	45,71	1446,67	5,26	22,51	1,18	1,67
29-04-21	Ast. Ext.		669,40		5,77					0,86
29-04-21	Ast Int.	95,17			10,54	360,67				2,92
29-09-21	Mezcla	421,24	744,79	91,9	46,48	1593,06	5,45	26,32	1,44	1,99
29-09-21	Ast. Ext.		719,48		8					1,11
29-09-21	Ast Int.	55,00			11,95	208,00				5,75

Fuente: Elaboración propia con base en valores de topografías



Continuación Tabla 4.2

Fecha	Pila	Picado Rollizo (MR)	Astilla Ext (m3st)	Topografía Corteza (m3st)	Topografía Aserrín (m3st)	Astilla Int (m3st)	% Corteza	% Pérdida Madera Pulpable en Corteza	% Pérdida Descortezado	% Pérdida Harneros
28-11-21	Mezcla	260,00	864,00	63,4	16,3	<b>976,60</b>	<b>6,10</b>	<b>26,32</b>	<b>1,60</b>	<b>0,89</b>
28-11-21	Ast. Ext.		600,00		11,2	<b>1,87</b>				
28-11-21	Ast Int.	50,00			6,40	<b>3,41</b>				
29-03-22	Mezcla	333,67	735,09	75,03	40,8	<b>1259,65</b>	<b>5,62</b>	<b>26,32</b>	<b>1,48</b>	<b>2,05</b>
29-03-22	Ast. Ext.		336,00		3,13	<b>0,93</b>				
29-03-22	Ast Int.	90,09			7,76	<b>2,28</b>				
28-04-22	Mezcla	369,78	816,00	81,37	42,52	<b>1397,75</b>	<b>5,50</b>	<b>26,32</b>	<b>1,45</b>	<b>1,92</b>
28-04-22	Ast. Ext.		336,00		6,64	<b>1,98</b>				
28-04-22	Ast Int.	90,29			9,16	<b>2,68</b>				
30-05-22	Mezcla	326,26	864,00	96,28	70,17	<b>1208,76</b>	<b>7,38</b>	<b>26,32</b>	<b>1,94</b>	<b>3,39</b>
30-05-22	Ast. Ext.		504,00		11,52	<b>2,29</b>				
30-05-22	Ast Int.	81,87			27,78	<b>9,16</b>				

Fuente: Elaboración propia con base en valores de topografías

## 4.7 Utilización de factores actualizados

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo del balance se utilizan factores fijos para las pérdidas, además que para otros factores como la densidad se utiliza el valor del mes anterior debido a la no disponibilidad del valor actual lo que se cree, podría estar generando valores incorrectos.

Para poder comparar el efecto de esto se generaron distintos escenarios y se recalcularon las diferencias con respecto a la topografía que estos generaban. Para poder evaluar cuál de estos escenarios se acercaba más a la medición generada por la topografía se utilizó la Raíz del Cuadrado Medio de Error (RSME).

Para poder extraer datos históricos de densidad y de porcentaje en seco fue necesario a través de una macro en el lenguaje de programación VBA acceder a una base de datos llamada Lab21 la cual establecía una conexión por medio de una ODBC y sentencias en SQL, para luego agrupar los datos por medio de una tabla dinámica en Excel. El código usado para extraer los datos se muestra en el Anexo C.

Para el análisis se crearon en total 5 escenarios, los cuales corresponden al escenario actual, un escenario con los factores de pérdida actualizados utilizando los datos obtenidos por medio de las pilas de ensayo en las topografías en la Tabla 4.2, un escenario donde el peso seco de la madera picada se calcula por medio de la densidad del mes correspondiente al picado sin el desfase mencionado, un escenario donde el peso de la madera picada se calcula utilizando la densidad diaria correspondiente y uno donde para calcular el peso de la astilla externa ingresada se utilizó el volumen en *mss* por la densidad básica mensual.

De todos estos escenarios solo el último disminuyó la diferencia con respecto a la topografía, lo cual en cierta medida se explica por lo observado en los análisis anteriores, puesto que las pérdidas de harneo y descortezado, influyen en menor medida que datos como el consumo de digestores o el ingreso de astilla a la pila.

Los cálculos realizados se pueden observar en la Tabla 4.3, la cual se observa a continuación.

Tabla 4.3 Calculo de las diferencias de stock con base en distintos escenarios

	Diferencia Actual	Pérdidas Actualizadas	Densidad Mensual Real	Densidad Diaria	Cálculo de Ast Ext con m3
	Diferencia	Diferencia	Diferencia	Diferencia	Diferencia
27-02-2020	-679	-826	-1311	-1067	481
22-03-2020	-997	-1108	-1055	-998	864
27-04-2020	-2565	-2778	-2490	-2379	1028
27-05-2020	-3290	-2519	-2603	-2685	627
25-06-2020	-1103	-1039	-1492	-1633	690
28-07-2020	-957	-794	-1446	-1269	993
13-08-2020	1922	2542	2073	2112	2524
27-08-2020	-522	29	-329	-356	241
14-09-2020	1405	1381	1333	1338	1903
27-09-2020	808	778	726	721	690
28-10-2020	-998	-999	-999	-999	1758
26-11-2020	-521	-535	-1524	-1470	2370
28-12-2020	-3411	-3758	-3895	-3831	4972
27-01-2021	-2201	-2839	-1527	-1296	582
24-02-2021	-6520	-6648	-6583	-6192	3953
28-03-2021	-1211	-1432	-553	-533	437
28-04-2021	-5479	-5228	-6436	-6282	5640
27-05-2021	-6772	-6816	-6384	-6068	4490
28-06-2021	-7978	-8121	-7555	-7564	6427
28-07-2021	-6949	-7059	-7479	-7689	7394
19-08-2021	-3833	-3883	-4202	-4238	4035
29-08-2021	636	643	456	412	743
28-09-2021	-510	-510	-425	-263	622
27-10-2021	153	101	314	360	1160
28-11-2021	1545	1490	1224	1263	753
28-12-2021	1027	926	1306	1207	312
23-01-2022	-2203	-2324	-2274	-2306	2598
24-02-2022	1983	1908	2656	2709	2492
28-03-2022	1489	1476	1104	1109	1833
27-04-2022	2850	2789	2823	2738	4013
<b>RSME</b>	<b>3241</b>	<b>3285</b>	<b>3313</b>	<b>3265</b>	<b>2964</b>

Fuente: Elaboración propia con base en valores de topografías

## 4.8 Balances de otras Superintendencias

Como se dijo anteriormente, en la planta existen distintas Superintendencias, cada una encargada de un sector del proceso productivo. Dentro del tema y el alcance de esta memoria, las principales Superintendencias involucradas corresponden a Procesos, Madera y Efluentes, junto con Suministro,

donde las 3 llevan un inventario de la madera, ya sea la astilla o los rollizos que se mantiene almacenada dentro de la planta.

Algo que ocurre debido a lo anterior, es que entre las Superintendencias existe poco conocimiento de los balances de las otras y como estos realizan los cálculos de inventario lo cual lleva a confusiones, por lo que, en una reunión el equipo de trabajo de la planta solicito que se revisaran los balances con tal de crear una propuesta que los unifique en uno solo.

- **Balance Superintendencia de Madera y Efluentes**

El balance de la Superintendencia de Madera y Efluentes es realizado en un archivo Excel llamada “Ingreso a Picado 2018” y es llevado a cabo mediante la información entregada por la empresa Serfocol, la cual debe ser validada por la Superintendencia de Suministros. Este balance contiene información sobre la madera en *MR* y *mss*, la cual está desagregada por la cantidad de madera que ingresa a canchas, la cantidad de madera de camiones que ingresa a picado directo y la cantidad de madera en las canchas que ingresa a picado.

Junto con esto se lleva un stock de la cantidad de rollizos en *MR* que se encuentra en las canchas de acopio y otros datos como la densidad aparente de la madera.

- **Balance Superintendencia de Suministro**

El balance de la Superintendencia de Suministros está enfocado principalmente en la cantidad de rollizos existente en canchas y es completado mediante la información del manejo de madera dentro de la planta proporcionada por la empresa Serfocol.

Al momento de recabar información sobre este balance se observó que existía un descuadre respecto al balance realizado en la Hoja Día de una cantidad de 155,050 *mss* presente desde abril del año 2021, lo cual se tuvo que corregir mediante un consumo de madera en el balance, dando cuenta que existe una desconexión entre la información recopilada por este balance y el realizado en la Hoja Día.

#### **4.9 Propuesta de mejora al balance existente**

Finalmente, se propuso realizar una actualización al balance realizado actualmente en la Hoja Día, con el fin de crear un único balance que también recopile la información necesaria por parte las otras Superintendencias, para esto fue necesario la recopilación de una gran cantidad de datos desde distintas bases de datos pertenecientes a la empresa.

Primero, algo que fue posible observar durante el tiempo de trabajo para la obtención de información fue la dificultad de poder acceder a los datos de manera óptima, ya que estos eran separados mensualmente en diferentes hojas Excel, con lo cual no se disponía de una base de datos histórica que pudiera ayudar a tener un manejo menos engorroso a la hora de querer hacer análisis por periodos de tiempo más largos.

Otras dificultades que se observaron fue la gran cantidad de tiempo que toma rellenar los datos que se necesitan para generar el balance actual, puesto que la mayoría de los datos son calculados en otros archivos o planillas para luego ser copiados en el balance. Otros datos, principalmente los referidos al manejo de las canchas, son extraídos de plataformas de manera manual o extraídos de planillas de operación de manera manual. Este proceso, además de ser ineficiente, puede llevar a una mala digitación de los datos y con esto, traer errores de cálculo que son difíciles de identificar pasado el tiempo.

Otro punto de mejora que se logró observar fue la inexistencia de clasificación de la astilla externa, puesto que no toda la astilla de proveedores externos que ingresa a la planta es depositada directamente en la rastra hacia la pila principal, sino que es almacenada en dos canchas transitorias. Este dato particular ayuda a calcular los porcentajes de astilla externa presentes en la pila principal y ayuda a observar la calidad de la celulosa que se está produciendo y la cantidad de astilla externa que se tiene en reserva.

Otro tema importante a tener en cuenta es que este balance deber ser claro y fácil de manejar, puesto a no dificultar el trabajo diario de las personas encargadas del área de estadística, lo cual entorpecería su desempeño. Para ello se utilizó como interfaz una hoja de cálculo en Excel, puesto que esta herramienta es la que les resulta más familiar y con la cual trabajan de una manera más cómoda.

El balance se elaboró siguiendo el formato general de la Hoja Día, puesto que, de todos los balances, este era el que se encontraba más completo y tenía más información, complementando con la información adicional de los otros balances.

Para automatizar el proceso de cálculo del balance y reducir el tiempo de llenado de datos se creó una macro interactiva que hace consultas a las distintas bases de datos y extrae la información requerida. Luego de extraído el dato, este se guarda en las celdas del archivo y para luego realizar los cálculos correspondientes mediante fórmulas de Excel. Se hizo de esta manera, puesto que la gente que maneja

esta información está más familiarizada con esta forma de trabajo y supone un menor riesgo en caso de falla del programa.

#### 4.10 Construcción del nuevo balance

Tomando en cuenta lo anterior el nuevo balance debe incorporar todas las variables descritas y agregar nuevas. En la Tabla 4.4 se muestra un resumen del total de variables, cuyos datos diarios se necesitan para armar el balance, junto con la fuente de origen desde la cual se consigue dicha variable.

Como se observa existen distintas fuentes de información, además de que gran parte de estos datos deben ser recolectados en distintas unidades de medida. Las dos bases de datos principales de la empresa y de las cuales se extraerán los datos corresponden a SRR y Lab21.

**Tabla 4.4 Variables necesarias en el nuevo balance junto con su fuente de origen**

Categoría	Variables	Unidad	Fuente
Ingresos de rollizos	Ingreso a cancha rollizo pino	<i>MR y mss</i>	SRR
	Ingreso a picado directo rollizo pino	<i>MR y mss</i>	SRR
	Ingreso a cancha rollizo pino aserrable	<i>MR y mss</i>	SRR
	Ingreso a picado directo rollizo pino aserrable	<i>MR y mss</i>	SRR
	Ingreso a cancha rollizo pino aserrable rechazo	<i>MR y mss</i>	SRR
	Ingreso a picado directo rollizo pino aserrable rechazo	<i>MR y mss</i>	SRR
Ingreso astilla interna	Peso seco astilla externa	<i>Tse</i>	SRR
	Peso húmedo astilla externa	<i>TH</i>	SRR
	Volumen sólido sin corteza de astilla externa	<i>mss</i>	SRR
	Volumen bruto de astilla externa	<i>m<sup>3</sup>st</i>	SRR
Consumos	Consumo digestores	<i>TH</i>	Lab21
	Pérdida de harneo	<i>Tse</i>	SRR
	Pérdida de descortezado	<i>Tse</i>	SRR
	Consumo de astilla en P81 y cancha 9	<i>m<sup>3</sup>st</i>	Lab21
	Consumo de astilla de camión a rastra	<i>m<sup>3</sup>st</i>	Lab21

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

Para la construcción de este nuevo balance fue necesario el manejo de estas bases de datos con el fin de realizar consultas a estas para poder obtener los datos requeridos. Para esto se utilizó una librería de Excel llamada ADODB. Para utilizar esta librería se debe activar la referencia Microsoft ActiveX Data Objects 2.6 Library en la ventana de Herramientas en el Editor de VBA del archivo Excel.

El primer inconveniente que resultó al momento de establecer la conexión para crear el nuevo balance fue la falta de información por parte del equipo de trabajo dentro de la empresa sobre la arquitectura

de las bases de datos, así como el nombre de las tablas, nombres de las columnas o sobre cómo utilizarlas en general. Para solucionar este inconveniente se utilizó el comando C1 el cual entrega el nombre de todas las tablas de la base de datos, con el fin de poder ocuparlas.

```
C1: SELECT TABLE_NAME FROM INFORMATION_SCHEMA.TABLES WHERE
TABLE_TYPE='BASE TABLE'
```

Posteriormente, luego de una inspección de las tablas retornadas por el comando, se concluyó que las tablas que contienen los datos necesarios para armar el nuevo balance corresponden a las llamadas *TE\_LAB\_VALUES* y *TE\_LAB\_HEADER* para el caso de la base de datos Lab21 como *genexus.Recepcion*, *genexus.Estadomadera*, *genexus.Intervencion*, *genexus.Pro\_Celulosa*, *genexus.Lugares* y *genexus.Proveedores*, para el caso de SRR.

Teniendo acceso a los nombres de las tablas, fue posible obtener el nombre de las columnas mediante el comando C2, en donde *TABLE\_NAME* es el nombre de la tabla de la cual se busca conocer el nombre de sus columnas. Teniendo estos datos fue posible realizar consultas a las bases de datos. Algunos ejemplos de los resultados obtenidos por el comando C2 se muestran en la Tabla 4.5 y la Tabla 4.6 junto con la descripción de la información almacenada en cada columna.

```
C2: SELECT COLUMN_NAME FROM INFORMATION_SCHEMA.COLUMNS WHERE
TABLE_SCHEMA = 'dbo' AND TABLE_NAME = 'TE_LAB_VALUES' ORDER BY
ORDINAL_POSITION
```

Luego de esto, fue necesario unir distintas tablas para relacionar la información existente, esto se hizo mediante las sentencias *RIGHT JOIN* y *LEFT OUTER JOIN*, las cuales asocian dichas tablas mediante una columna en común.

**Tabla 4.5 Columnas obtenidas de la tabla *TE\_LAB\_VALUES* mediante el comando C2**

Columna	Descripción	Tipo
L_LABVAL_TESTNO	Número id del dato	Integer
S_LABVAL_TAGNAME	Tag de la variable	String
F_LABVAL_REALVAL	Valor de la variable	Float
S_LABVAL_TAGVAL	Valor de la variable	String
S_LABVAL_COMMENT	Comentario del dato	String

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

**Tabla 4.6 Columnas obtenidas de la tabla TE\_LAB\_HEADER mediante el comando C2**

Columna	Descripción	Tipo
L_LABHEAD_ID	Número id del dato	Integer
I_LABHEAD_MILLAREA	Número del área	Integer
B_LABHEAD_ACTIVE	Estado de la variable	Integer
I_LABHEAD_SCREENID	Número de folio	Integer
D_LABHEAD_ENTRYTIME	Tiempo de ingreso del dato	Datetime
S_LABHEAD_TESTER	Nombre de usuario que ingreso el dato	String
S_LABHEAD_NDXVAL1	Tiempo de la medición o dato	Datetime
S_LABHEAD_NDXVAL2	Origen de la medición	String
S_LABHEAD_NDXVAL3	Columna vacía	

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

Algo a tener en cuenta es que los datos provenientes del Lab21 tienen asociado un *Tag* y un número de folio, los cuales sirven como identificadores para los datos, así para poder obtener estos datos es preciso

En el caso de la base SRR, cada producto, ya sea astilla externa, rollizo pino, rollizo pino aserrable o rollizo pino aserrable rechazo tiene asociado un id identificador, una ubicación la cual depende si es que este ingresa a hacia las canchas de acopio, si ingresa hacia picado directo o si ingresa a las canchas de almacenamiento de astilla externa.

Para poder acceder a la base de datos, primero es necesario definir dos variables de conexión *Connection* y *Recorset*. La variable *Connection* establece la conexión con la base de datos mediante la función *Open* la cual recibe como parámetros el nombre del DSN de la ODBC, un id de usuario y una contraseña, las cuales varían dependiendo de a qué base de datos se quiera acceder.

La información de los parámetros utilizados para establecer la conexión se encuentra en la Tabla 4.7. mostrada a continuación.

**Tabla 4.7 Datos para establecer la conexión por medio de la ODBC**

Base de datos	DSN	Id usuario	Password
Lab21	Lab21	testentry	testentry
SRR	Recepmad_odbc	genexus	genex01

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

La variable *Recorset* corresponde a una tabla en memoria que se mantiene temporalmente antes de extraer los datos de Excel, donde se ve reflejada la información extraída. Esta variable recibe como parámetros una consulta en lenguaje SQL, que para este ejemplo corresponde al comando C3 y la



variable de conexión *Connection* mediante la función *Open*. Luego de establecida la conexión del *Recorset*, la variable obtiene la matriz con los datos extraídos mediante la función *GetRows()*.

```
C3: SELECT SUM(TE_LAB_VALUES.F_LABVAL_REALVAL) FROM TE_LAB_VALUES
RIGHT JOIN TE_LAB_HEADER ON TE_LAB_VALUES.L_LABVAL_TESTNO =
TE_LAB_HEADER.L_LABHEAD_ID WHERE TE_LAB_VALUES.S_LABVAL_TAGNAME =
'L21_031QI81.4' AND TE_LAB_HEADER.I_LABHEAD_SCREENID = '158' AND
TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 >= '44595' AND
TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 < '44596' ;
```

Finalmente, teniendo la estructura de las consultas a realizar, se crea la macro en lenguaje VBA. Para obtener los datos es necesario primero ingresar fecha en la celda “A12” del archivo Excel en la Hoja1. Se le deberá dar el formato correspondiente a la fecha dependiendo de a qué base de datos se realice dicha consulta. Tomando como ejemplo el comando C3 la fecha que se ingresó en la interfaz fue el “03-02-2022” mientras la que la ingresada a la consulta corresponde a “44595”.

Por otro lado, se descubrió que los operadores de Serfocol ingresan el consumo de astilla de las canchas 31-P-81 y C-9 con un desfase de una hora, por lo cual en esa consulta específica la fecha debió ser ajustada para recolectar los datos correctos.

Para los datos de los ingresos y picado a cancha de los rollizos fue necesario utilizar un algoritmo con tal de clasificar el dato dependiendo si el producto corresponde a rollizo pino, rollizo pino aserrable o rollizo pino aserrable rechazo, donde por medio de un ciclo *For* se recorre la matriz de datos y se clasifica mediante sentencias de decisión.

Escrito el código y creada la interfaz es posible obtener la calidad diaria real de la madera la cual es de mayor interés para la Superintendencia de Madera y Efluentes, la cual se contrasta con pruebas de consistencia realizadas a la celulosa producida.

En términos de tiempo la macro se ejecuta en cuestión de segundos, ahorrando el trabajo de digitación manual evitando los inconvenientes que se esto conlleva mencionados anteriormente unificando los balances realizados por las distintas Superintendencias.

El código utilizado se encuentra en el Anexo E del presente informe, mientras que en el Anexo D se puede observar una imagen de la interfaz utilizada.

## **5 Discusión y conclusiones**

En este capítulo se discutirá sobre las metodologías utilizadas, los resultados obtenidos, las dificultades y limitaciones que surgieron durante el transcurso de esta memoria y las conclusiones final que se rescataron luego de la realización de esta memoria, junto con recomendaciones de mejora que se observaron, las cuales se considera serán de utilidad para el equipo de trabajo de la planta Constitución en el desarrollo de su trabajo.

### **5.1 Metodología utilizada**

Los métodos utilizados para el levantamiento de información resultaron beneficiosos para el desarrollo del proyecto. Las entrevistas realizadas lograron aclarar dudas sobre el proceso productivo, equipos utilizados, entre otros. Los trabajadores dentro de la planta se mostraron la mayor parte del tiempo dispuestos a cooperar y a entregar sus conocimientos en el área en la que se desempeñan y en caso de no contar con información sobre un tema específico, ayudaron contactando a personal que si tuviera experiencia en dicha área. En total se realizaron entrevistas a operadores de Serfocol, operarios de laboratorios de muestras, de romana, de sala de control de madera, jefes de turno, jefes de electrocontrol, estadísticos, topógrafos, ingenieros de proceso, informáticos y superintendentes del área de Procesos y Madera y Efluentes los cuales aportaron con su conocimiento y permitieron el desarrollo de este trabajo.

La información encontrada sobre la cubicación de la madera junto con las unidades de medida utilizadas, ayudaron a poder comprender el proceso, junto con el poder realizar los cálculos de escenarios y poder actualizar las pérdidas del proceso.

Junto con ello, la creación de los diagramas de flujo de proceso permitió tener una visión completa de la generación de astillas hasta su acopio en la pila principal y las pérdidas que este proceso trae. El diagrama de Parteo ayudo a identificar las variables más importantes dentro del balance de la madera, mientras que el diagrama de Ishikawa ayudo a identificación de problemas dentro del proceso.

En cuanto a los métodos para la creación del nuevo balance, se encontraron diversas fuentes de información en internet las cuales ayudaron a establecer la conexión con las bases de datos. Además, la información sobre el lenguaje VBA, sobre su sintaxis y funciones, fue útil para su aplicación, como para la creación de las macros dentro de los archivos Excel, que es la aplicación mayormente utilizada por el equipo de trabajo dentro de la planta.

## 5.2 Resultados obtenidos

Debido a la inquietud del equipo de trabajo sobre la validez de los ajustes topográficos, se realizó un análisis en un periodo de tiempo determinado, observando en la Figura 4.6 que el uso de estos ajustes ha sido de vital importancia en la contabilización de astillas, puesto que el no uso de estos a través del tiempo habría llevado el stock de astillas hasta cantidades enormes, las cuales no se coinciden con la realidad observable, ni las capacidades operativas máximas de almacenamiento de la superficie del área de Preparación Madera respondiendo a la inquietud que existía en la empresa. De esto se observa que, el uso de los balances si bien ayuda en cierta medida a obtener una medida aproximada del stock diario actual, es solo recomendable utilizarlo en intervalos cortos de tiempo (cercano a un mes), debido a lo anteriormente mencionado.

Otro resultado, fue la actualización de los factores de pérdida de los procesos de harneo y descortezado calculando a través de información del volumen de las pilas de ensayo obtenida mediante topografías aéreas, cuyo desarrollo se puede observar en la Tabla 4.2. Dichos factores no habían sido revisados desde el año 2014.

Finalmente, luego de recabar información realizar los análisis antes mencionados, se creó un nuevo balance que incorpora variables de consumo de astilla externa en las canchas C-9 y 31-P-81 y el stock de la pila de consumo principal, los cuales actualmente no han estado siendo considerados. Por medio de una macro en un archivo Excel se logró establecer una conexión con las dos bases de datos de la empresa mediante un ODBC, con el fin de extraer la información diaria. Esta propuesta de balance unifica los métodos de cuantificación de la madera ocupados por las Superintendencias de Procesos, Madera y Efluentes y Suministros. Además, el uso de este nuevo balance permite entre otras cosas realizar cálculos de manera más eficiente, además de que el tiempo de que el tiempo de llenado de datos disminuyo de horas a segundos.

Junto con lo anterior, la información obtenida con respecto a la arquitectura de las bases de datos dentro de la empresa e información sobre la conexión a estas puede ser aplicada para contabilizar otros productos del proceso de generación de celulosa de interés para la Superintendencia de Procesos, particularmente para el área de estadística, la cual es la encargada de aquello.

### **5.3 Dificultades y limitaciones del proyecto**

Algunas dificultades que se encontraron dentro del desarrollo de la memoria, fue la dificultad que surgió la mayor parte del tiempo que se intentó acceder a los datos históricos de la empresa. El motivo de esto era debido a que la empresa era muy meticulosa a la hora de confiar información, puesto a la existencia de un ataque informático a su sistema a mediados del año pasado.

Relacionado a lo anterior, otra dificultad que apareció durante el transcurso de la memoria, pero que más adelante se pudo solucionar, fue la no existencia de gente que supiera como manejar las bases de datos dentro de la planta, así como su arquitectura o el nombre de las tablas, por lo que para poder obtener esos datos fue necesario trabajo adicional. Si bien existían algunas macros básicas que extraían algunos datos específicos desde las bases de datos, estas fueron creadas por trabajadores que trabajaron anteriormente en Constitución, pero que luego fueron reasignados a otras plantas de Arauco, sin dejar ninguna información de cómo acceder a estos ni cómo armaron dichas macros. Para solucionar este inconveniente se tuvo que realizar una revisión en internet, para poder ocupar dichas herramientas y poder realizar el nuevo balance.

Adicionalmente, como se mencionó anteriormente, debido a la naturaleza del tema fue difícil encontrar documentación respecto al tema por lo que fue necesario utilizar métodos prácticos

Un tema que no se pudo abordar fue el motivo de la diferencia existente entre el balance y la topografía, puesto que la mayoría de los supuestos sobre los motivos de la diferencia existente no se pudieron comprobar por los métodos utilizados. Esto junto con la probable inexactitud de algunos datos provistos por la empresa externa Serfocol puesto que una gran parte de los datos, principalmente el picado de madera en cancha, corresponden a aproximaciones y no a mediciones.

### **5.4 Recomendaciones**

Las recomendaciones que se puede realizar al proceso general son la incorporación de nuevos pesómetros en las correas transportadores existentes. Estos equipos de medición si bien se encuentran dentro de la planta no han recibido la mantención necesaria y se encuentran actualmente inhabilitados u obsoletos, teniendo como motivo la falta de iniciativa por parte de la gente dentro de la empresa, puesto que su no existencia no pone en detención el proceso general. En entrevistas con ingenieros de proceso de la planta, se comentó la falta que hacían los pesómetros, puesto que eran de vital importancia en otras plantas de Arauco, como por ejemplo en la planta de Nueva Aldea, donde estos

si recibían mantenimiento y entregaban la información del peso de astillas en línea. Por esto es recomendable su instalación, siendo los más importantes en las correas transportadoras 31-P-36 y 31-P-34 que miden la cantidad de astilla ingresada a la pila principal y la cantidad de astilla interna ingresada a la pila principal.

Otro tema que considerar es la pavimentación del terreno donde se acopia la astilla con tal minimizar la cantidad de merma generada por la astilla contaminada con tierra o barro del lugar.

## **5.5 Conclusiones**

Luego de la realización de este informe, los análisis realizados y los posteriores resultados, se logra concluir que el proceso de la contabilización de astillas presenta dificultades en su estimación, esto generado ya sea por la gran cantidad de factores que existen para la realización de los cálculos, tanto como por la naturaleza de la astilla la cual genera una gran cantidad de merma al almacenarla en la superficie dentro de la planta.

Si bien los factores de pérdida que se utilizaban no habían sido actualizados desde hace más de 8 años estos no presentaban una gran diferencia con los calculados actualmente, pese al desgaste de los equipos a través de los años, lo cual puede deberse a la mantención periódica que se realiza durante la PGP.

Pese a la existencia de factores estacionales que afectan el peso de la madera, como su porcentaje de humedad, no se observó que las diferencias de stock entre los balances y las topografías presentaran estacionalidad (ver Figura A.1), desestimando una de las hipótesis del equipo de trabajo dentro de la planta.

De acuerdo a lo observado, algo de bastante utilidad y que el área de Estadística desarrolló bien fue el contar con bitácoras, sobre los movimientos de la madera, las cuales ayudaron a encontrar la fuente del descuadre ocurrido entre el balance de la Superintendencia de Procesos y de la Superintendencia de Suministro mencionada anteriormente, por lo cual es importante que esto se siga realizando en caso de implementar el nuevo balance como método para mitigar cual tipo de error que pudiera surgir.

Finalmente, de este trabajo se puede concluir que existe una gran importancia de contar con equipos de medición actualizados los cuales son necesarios para el buen desempeño del proceso general. Hoy en día gracias a los avances de la tecnología es posible obtener datos de manera instantánea y en línea

lo que permite un mayor control de la materia prima y de su stock real dentro de la planta. Una inversión en nuevos equipos tendrá al largo plazo una mejora en el desempeño y la calidad del producto final que en este caso corresponde a la celulosa producida.

## Glosario

### A

ADT: *Air Dry Ton*

### M

MR: Metro Ruma

MSS: Metro sólido sin corteza

### O

ODBC: *Open DataBase Connection*

### P

PGP: Parada general de planta

### S

SIPRO: Superintendencia de Procesos

SQL: *Structured Query Language*

### V

VBA: *Visual Basic for Application*

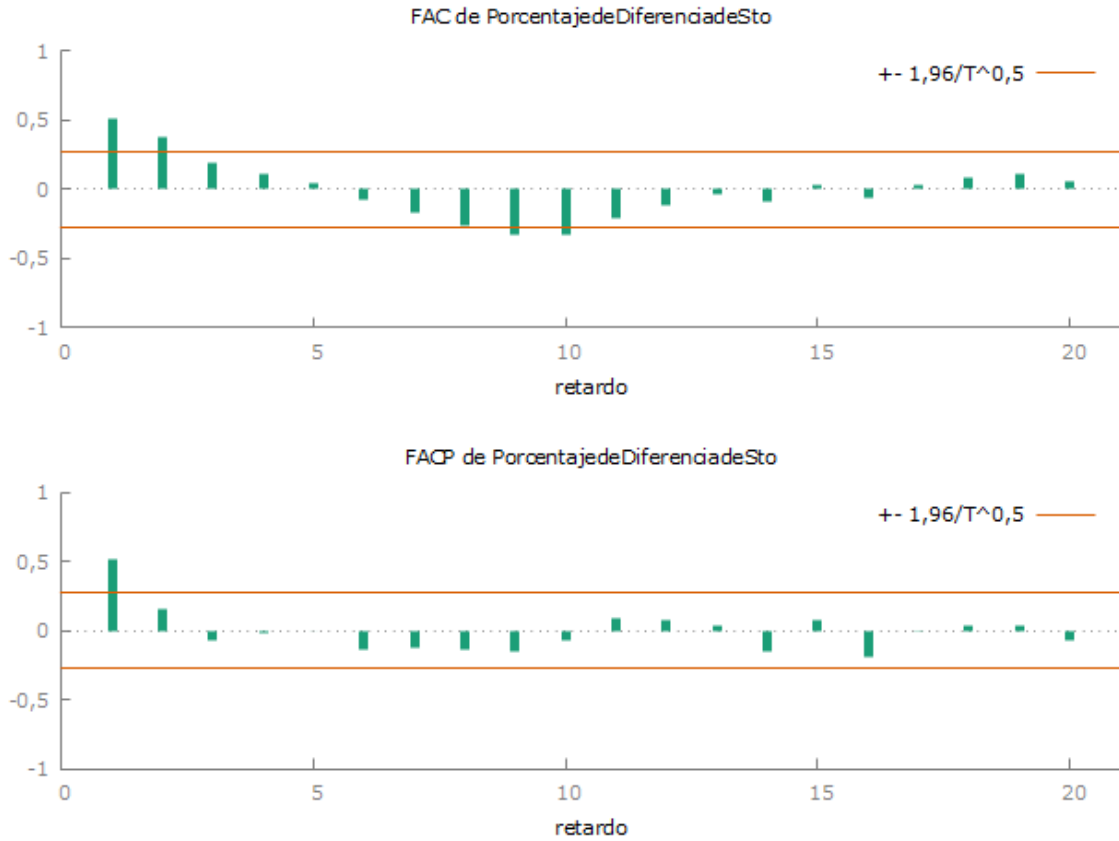
## Referencias

- Arauco. (2019). *ARAUCO*. Recuperado el 4 de Abril de 2022, de Memoria 2019: <https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/07/memoria-2019-6-abril.pdf>
- Delmastro Naso, R., Díaz-Vaz O., J. E., & Schlatter V., J. E. (1982). *Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del Pinus radiata (D.Don)*. Santiago: Proyecto CONAF/PNUD/FAO.
- Garza, E. G., & Sánchez, F. A. (2000). *Administración de la calidad total : conceptos y enseñanzas de los grandes maestros de la calidad*.
- Gilbreth, F. B., & Gilbreth, L. G. (1921). *Process Charts. First Steps in Finding the one best way to do work*. New York.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma Tercera Edición*. McGraw-Hill.
- INA. (s.f.). *Instituto nacional de aprendizaje*. Recuperado el 20 de 6 de 2022, de [https://www.inapдите.ac.cr/pluginfile.php/10794/mod\\_resource/content/1/GPIM%20R1/proceso.html](https://www.inapдите.ac.cr/pluginfile.php/10794/mod_resource/content/1/GPIM%20R1/proceso.html)
- Instituto Forestal. (1967). *Medición del contenido de humedad de la madera*. Santiago: INFOR.
- Macrovision. (s.f.). Recuperado el 8 de Julio de 2022, de macrovision: [https://www.macrovision.ie/webhelp/html/appendix/appendix\\_odbc.htm](https://www.macrovision.ie/webhelp/html/appendix/appendix_odbc.htm)
- Microsoft. (2021). *Administrar orígenes de datos ODBC*. Recuperado el 3 de Mayo de 2022, de Microsoft: <https://support.microsoft.com/es-es/office/administrar-or%C3%ADgenes-de-datos-odbc-b19f856b-5b9b-48c9-8b93-07484bfab5a7>
- Smook, G. A. (1990). *Manual para técnicos de pulpa y papel*.
- Souter G.H., R., Maza R., J. E., & Emanuelli A., P. (2003). *Normas de calidad de productos madereros del bosque nativo. Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo*. Santiago.
- Tague, N. (2004). *The Quality Toolbox*. ASQ Quality Press.



Taller de Producción Forestal. (1991). *LOGMETER. Sistema de medición de volúmenes de madera.*  
Concepción.

## Anexo A:



**Figura A.1 FAC y FAP de las diferencias de stock dentro de la planta**

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

## Anexo B:

**Tabla B.1 Densidad básica mensual de las astillas dentro de la planta**

Mes	Densidad (kg/m3)		
	Alimentación Digestores	Preparación Madera	Astilla Externa
ene-20	399,02	371,93	408,35
feb-20	401,60	385,23	415,39
mar-20	401,38	382,63	416,41
abr-20	403,37	381,79	415,81
may-20	394,63	372,12	422,23
jun-20	398,33	383,07	420,56
jul-20	394,44	387,64	417,79
ago-20	403,54	387,01	420,54
sept-20	407,08	385,42	430,45
oct-20	422,18	379,91	426,02
nov-20	426,62	398,73	435,16
dic-20	419,46	403,12	436,02
ene-21	408,52	391,29	427,06
feb-21	410,77	394,43	421,75
mar-21	401,78	380,58	420,86
abr-21	414,65	396,92	426,06
may-21	405,74	389,46	420,94
jun-21	401,99	378,91	415,45
jul-21	400,16	388,21	415,77
ago-21	403,78	395,48	421,30
sept-21	400,07	393,45	420,66
oct-21	401,18	390,82	424,42
nov-21	406,66	396,92	423,10
dic-21	408,87	390,00	424,39
ene-22	401,95	395,80	418,65
feb-22	405,62	383,89	424,25
mar-22	401,08	391,32	421,56
abr-22	409,45	390,98	423,94

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

Tabla B.2 Porcentaje seco mensual de las astillas dentro de la planta

Mes	Porcentaje Seco		
	Alimentación Digestores	Preparación Madera	Astilla Externa
ene-20	57,12	56,25	57,58
feb-20	58,18	57,31	56,50
mar-20	56,60	56,37	55,56
abr-20	57,55	56,84	56,46
may-20	55,11	54,56	54,28
jun-20	51,97	51,40	50,46
jul-20	46,38	46,57	44,78
ago-20	46,83	48,25	45,33
sept-20	45,99	47,58	45,07
oct-20	49,06	47,96	47,19
nov-20	50,68	54,15	48,94
dic-20	53,68	53,98	51,30
ene-21	55,51	53,76	52,50
feb-21	51,27	51,94	47,96
mar-21	51,97	49,56	49,16
abr-21	49,53	49,42	47,84
may-21	46,32	47,43	44,83
jun-21	44,40	43,56	42,93
jul-21	46,11	45,13	44,69
ago-21	45,43	45,38	44,64
sept-21	45,66	45,33	44,81
oct-21	47,23	45,20	47,47
nov-21	50,04	48,74	50,59
dic-21	52,11	50,43	50,91
ene-22	53,04	53,84	50,15
feb-22	52,52	49,66	50,89
mar-22	51,70	49,55	49,81
abr-22	50,95	50,77	48,21

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

## **Anexo C:**

Public Sub TraeDatos()

**'Obtiene desde QualityCheck datos sobre Astillas y sus proveedores**

Application.ScreenUpdating = False

**'Define variables de conexion**

Dim L21 As New ADODB.Connection

Dim reg As New ADODB.Recordset

Dim SQL1 As String

Dim Fi, Ff, P As Variant

Dim i, j As Integer

Dim Tag(8) As String

Dim Origen(1) As String

**'Periodo de interes para el analisis**

Fi = CDate("01-02-2020") \* 1

Ff = CDate("01-05-2022") \* 1

**'Numero de folio**

P = "30"

**'Tags de identificacion**

Origen(0) = "Alimentacion Digestores"

Origen(1) = "Preparacion Maderas"

Tag(0) = "L21\_916AI31.41" 'Sobre tamaño

Tag(1) = "L21\_916AI31.42" 'Sobre espesor

Tag(2) = "L21\_916AI31.43" 'Aceptado

Tag(3) = "L21\_916AI31.44" 'Pin chip

Tag(4) = "L21\_916AI31.45" 'Fino

Tag(5) = "L21\_916AI31.49" 'Seco

Tag(6) = "L21\_916AI31.47" 'Corteza

Tag(7) = "L21\_916AI31.48" 'Madera manchada

Tag(8) = "L21\_916DI31.1" 'Densidad básica

**'Abre la conexion con la ODBC**

L21.Open ("DSN=Lab21;UID=testentry;PWD=testentry;")

**'Sentencia para obtener datos (en este caso la densidad basica de alimentacion digestores)**

SQL1 = "SELECT TE\_LAB\_HEADER.S\_LABHEAD\_NDXVAL1, TE\_LAB\_VALUES.F\_LABVAL\_REALVAL  
" & \_

"FROM TE\_LAB\_VALUES RIGHT JOIN TE\_LAB\_HEADER ON TE\_LAB\_VALUES.L\_LABVAL\_TESTNO  
= TE\_LAB\_HEADER.L\_LABHEAD\_ID " & \_

"WHERE TE\_LAB\_VALUES.S\_LABVAL\_TAGNAME=" & Tag(8) & "' AND " & \_

"TE\_LAB\_HEADER.S\_LABHEAD\_NDXVAL2 =" & Origen(0) & "AND " & \_

"TE\_LAB\_HEADER.I\_LABHEAD\_SCREENID=" & P & " AND " & \_

"TE\_LAB\_HEADER.S\_LABHEAD\_NDXVAL1 >= " & Fi & "' AND " & \_

"TE\_LAB\_HEADER.S\_LABHEAD\_NDXVAL1<" & Ff & "' ORDER BY  
TE\_LAB\_HEADER.S\_LABHEAD\_NDXVAL1 ;"

reg.Open SQL1, L21

**'Obtiene los datos requeridos**

x = reg.GetRows()

**'Cierra y libera la memoria**

reg.Close

Set reg = Nothing

For i = 0 To UBound(x, 2)

**'Copia la fecha del valor en una celda**

Worksheets("Hoja9").Cells(2 + i, 12).Value = x(0, i)

**'Copia el valor en una celda**

Worksheets("Hoja9").Cells(2 + i, 13).Value = x(1, i)

Next

End Sub



## Anexo E

Public Sub Extraedatos()

**'Obtiene desde bases de datos para la contabilización de la madera**

Application.ScreenUpdating = False

**'Define variables de conexion**

Dim L21 As New ADODB.Connection

Dim SRR As New ADODB.Connection

Dim reg As New ADODB.Recordset

Dim SQL1 As String

Dim shDatos As Worksheet

Dim UltColumn As Long

Dim F, k, Fi, Ff, P As Variant

Dim i, j As Integer

Dim Tag1, Tag2, Tag3 As String

Dim Suma(11) As Variant

**'Obtiene la fecha inicial y final**

Fecha = CDate(Worksheets("Hoja1").Cells(12, 1).Value) \* 1

Fi = Fecha + 1 / 24

Ff = Fecha + 1 + 1 / 24

P = "158"



Tag1 = "L21\_031QI81.4" 'Alimentacion p81 y c9 a rastra

Tag2 = "L21\_031QI81.5" 'Alimentacion camion a rastra

Tag3 = "L21\_032QI32.1" 'Consumo madera humeda en disgestores

#### 'Abre la conexion

L21.Open ("DSN=Lab21;UID=testentry;PWD=testentry;")

#### 'Sentencia para obtener datos (en este caso la alimentacion de astilla externa desde canchas a la rastra)

```
SQL1 = "SELECT SUM(TE_LAB_VALUES.F_LABVAL_REALVAL) " & _
      "FROM TE_LAB_VALUES RIGHT JOIN TE_LAB_HEADER ON TE_LAB_VALUES.L_LABVAL_TESTNO
= TE_LAB_HEADER.L_LABHEAD_ID " & _
      "WHERE TE_LAB_VALUES.S_LABVAL_TAGNAME=" & Tag1 & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.I_LABHEAD_SCREENID=" & P & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 >= " & Fi & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 < " & Ff & " ; "
```

reg.Open SQL1, L21

#### 'Obtiene los datos requeridos

x = reg.GetRows()

#### 'Cierra y libera la memoria

reg.Close

Set reg = Nothing

#### 'Asigna los valores obtenidos en las celdas

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 35).Value = x(0, 0)

**'Sentencia para obtener datos (en este caso la alimentacion de astilla externa desde camiones a la rastra)**

```

SQL1 = "SELECT SUM(TE_LAB_VALUES.F_LABVAL_REALVAL) " & _
      "FROM TE_LAB_VALUES RIGHT JOIN TE_LAB_HEADER ON TE_LAB_VALUES.L_LABVAL_TESTNO
= TE_LAB_HEADER.L_LABHEAD_ID " & _
      "WHERE TE_LAB_VALUES.S_LABVAL_TAGNAME=" & Tag2 & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.I_LABHEAD_SCREENID=" & P & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 >= " & Fi & " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 < " & Ff & " ";

```

```
reg.Open SQL1, L21
```

**'Obtiene los datos requeridos**

```
x = reg.GetRows()
```

**'Cierra y libera la memoria**

```
reg.Close
```

```
Set reg = Nothing
```

**'Asigna los valores obtenidos en las celdas**

```
Worksheets("Hoja1").Cells(12, 36).Value = x(0, 0)
```

**'Obtiene peso húmedo, peso seco y volumen en MR y MSS de astilla de proveedores externos ingresada a planta**

```
SRR.Open ("DSN=Recepmad_odbc;UID=genexus;PWD=genex01;")
```

**'Asigna el formato necesario a la fecha para ingresar en la sentencia**

Fissr = Format(Month(Fecha), "00") & "/" & Format(Day(Fecha), "00") & "/" & Format(Year(Fecha), "00") & " 0:00:00"

Ffssr = Format(Month(Fecha + 1), "00") & "/" & Format(Day(Fecha + 1), "00") & "/" & Format(Year(Fecha + 1), "00") & " 0:00:00"

**'Sentencia para obtener datos (en este caso peso húmedo, peso seco y volumen en MR y MSS de astilla externa)**

```
Sql = "SELECT SUM(Rec_pesonetot)/1000, SUM(Rec_volumen), SUM(rec_m3ssc_total),
SUM(rec_tsettotal)/1000 " & _
"FROM genus.Recepcion LEFT OUTER JOIN " & _
"genus.Estadomadera ON " & _
"genus.Recepcion.Rec_EstaMadera = genus.Estadomadera.Est_Idestadom LEFT " & _
" OUTER Join " & _
"genus.Intervencion ON " & _
"genus.Recepcion.Rec_Intervencion = genus.Intervencion.Int_Idintervencion LEFT " & _
" OUTER Join " & _
"genus.Pro_Celulosa ON " & _
"genus.Recepcion.PCe_IdProducto = genus.Pro_Celulosa.PCe_IdProducto LEFT " & _
" OUTER Join " & _
"genus.Lugares ON " & _
"genus.Recepcion.Rec_Origen = genus.Lugares.Lug_idlugar LEFT OUTER JOIN " & _
"genus.Proveedores ON " & _
"genus.Recepcion.cli_RutProvee = genus.Proveedores.cli_rut " & _
"WHERE genus.Recepcion.Rec_FecHraIngreso >=" & Fissr & " " & _
"AND genus.Recepcion.Rec_FecHraIngreso <" & Ffssr & " " & "AND
genus.Pro_Celulosa.PCe_Descrip='Astillas Externa Pino' ;"
```

reg.Open Sql, SRR

x = reg.GetRows()

**'Cierra y libera la memoria**

reg.Close

Set reg = Nothing

**'Asigna los valores obtenidos a las celdas**

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 28).Value = x(0, 0)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 27).Value = x(1, 0)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 30).Value = x(2, 0)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 29).Value = x(3, 0)

**'Para obtener el volumen en MR y MSS de los camiones de rollizos ingresados a planta**

```
Sql = "SELECT genus.Recepcion.PCe_IdProducto,Ubi_idUbicacion, Rec_volumen, rec_m3ssc_total " & _
      "FROM genus.Recepcion LEFT OUTER JOIN " & _
      "genus.Estadomadera ON " & _
      "genus.Recepcion.Rec_EstaMadera = genus.Estadomadera.Est_Idestadom LEFT " & _
      " OUTER Join " & _
      "genus.Intervencion ON " & _
      "genus.Recepcion.Rec_Intervencion = genus.Intervencion.Int_Idintervencion LEFT " & _
      "OUTER Join " & _
      "genus.Pro_Celulosa ON " & _
      "genus.Recepcion.PCe_IdProducto = genus.Pro_Celulosa.PCe_IdProducto LEFT " & _
      " OUTER Join " & _
      "genus.Lugares ON " & _
      "genus.Recepcion.Rec_Origen = genus.Lugares.Lug_idlugar LEFT OUTER JOIN " & _
      "genus.Proveedores ON " & _
      "genus.Recepcion.cli_RutProvee = genus.Proveedores.cli_rut " & _
      "WHERE genus.Recepcion.Rec_FecHraIngreso >=" & Fissr & " " & _
      "AND genus.Recepcion.Rec_FecHraIngreso <" & Ffssr & " " & _
```

reg.Open Sql, SRR

```
x = reg.GetRows()
```

```
'Cierra y libera la memoria
```

```
reg.Close
```

```
Set reg = Nothing
```

```
Suma(0) = 0
```

```
Suma(1) = 0
```

```
Suma(2) = 0
```

```
Suma(3) = 0
```

```
Suma(4) = 0
```

```
Suma(5) = 0
```

```
Suma(6) = 0
```

```
Suma(7) = 0
```

```
Suma(8) = 0
```

```
Suma(9) = 0
```

```
Suma(10) = 0
```

```
Suma(11) = 0
```

```
'Suma el total de volumen en MR y MSS de camiones de rollizos ingresados a la planta
```

```
For i = 0 To UBound(x, 2)
```

```
'Para rollizo pino
```

```
If x(0, i) = "781790" Then
```

```
    If x(1, i) = "PICDIREC " Then 'Para picado directo
```

```
        Suma(0) = Suma(0) + x(2, i) 'Para Metro Ruma
```

```
        Suma(1) = Suma(1) + x(3, i) 'Para MSS
```

Else **'Para Ingreso a cancha**

Suma(2) = Suma(2) + x(2, i) **'Para Metro Ruma**

Suma(3) = Suma(3) + x(3, i) **'Para MSS**

End If

End If

**'Para rollizo pino aserrable**

If x(0, i) = "1613728" Then

If x(1, i) = "PICDIREC " Then **'Para picado directo**

Suma(4) = Suma(4) + x(2, i) **'Para Metro Ruma**

Suma(5) = Suma(5) + x(3, i) **'Para MSS**

Else **'Para Ingreso a cancha**

Suma(6) = Suma(6) + x(2, i) **'Para Metro Ruma**

Suma(7) = Suma(7) + x(3, i) **'Para MSS**

End If

End If

**'Para rollizo pino rechazo**

If x(0, i) = "0" Then

If x(1, i) = "PICDIREC " Then **'Para picado directo**

Suma(8) = Suma(8) + x(2, i) **'Para Metro Ruma**

Suma(9) = Suma(9) + x(3, i) **'Para MSS**

Else **'Para Ingreso a cancha**

Suma(10) = Suma(10) + x(2, i) **'Para Metro Ruma**

Suma(11) = Suma(11) + x(3, i) **'Para MSS**

End If

End If

Next

**‘Asigna valores calculados a las celdas**

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 4).Value = Suma(0)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 16).Value = Suma(1)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 3).Value = Suma(2)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 15).Value = Suma(3)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 7).Value = Suma(4)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 19).Value = Suma(5)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 6).Value = Suma(6)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 18).Value = Suma(7)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 10).Value = Suma(8)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 22).Value = Suma(9)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 9).Value = Suma(10)

Worksheets("Hoja1").Cells(12, 21).Value = Suma(11)

**‘Para obtener el peso de neto de la madera humeda en astillas consumida en digestores**

Fi = Fecha

Ff = Fecha + 1

P = 136

```
SQL1 = "SELECT SUM(TE_LAB_VALUES.F_LABVAL_REALVAL) " & _
      "FROM      TE_LAB_VALUES      RIGHT      JOIN      TE_LAB_HEADER      ON
TE_LAB_VALUES.L_LABVAL_TESTNO = TE_LAB_HEADER.L_LABHEAD_ID " & _
      "WHERE TE_LAB_VALUES.S_LABVAL_TAGNAME=" & Tag3 & " " AND " & _
      "TE_LAB_HEADER.I_LABHEAD_SCREENID=" & P & " AND " & _
```

```
"TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 >= " & Fi & " AND " & _  
"TE_LAB_HEADER.S_LABHEAD_NDXVAL1 < " & Ff & " ; "
```

```
reg.Open SQL1, L21
```

```
'Obtiene los datos requeridos
```

```
x = reg.GetRows()
```

```
'Cierra y libera la memoria
```

```
reg.Close
```

```
Set reg = Nothing
```

```
'Asigna los valores calculados en la celda
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(12, 31).Value = x(0, 0)
```

```
End Sub
```



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA**

**RESUMEN MEMORIA DE TÍTULO**

<b>Departamento</b>	: Departamento de Ingeniería Civil Industrial
<b>Carrera</b>	: Ingeniería Civil Industrial
<b>Nombre del memorista</b>	: Carlos Joaquín Rodrigo Díaz González
<b>Título de la memoria</b>	: Análisis y mejora del proceso de cuantificación de astillas e identificación de pérdidas en la generación de pilas de acopio de Celulosa Arauco y Constitución.
<b>Fecha presentación oral</b>	: 19-08-2022
<b>Profesor(es) Guía</b>	: Profesor Hernaldo Reinoso
<b>Profesor(es) Revisor</b>	: Profesor Eduardo Salazar
<b>Concepto</b>	:
<b>Calificación</b>	:

**Resumen:** En planta de celulosa de Arauco en Constitución, la principal materia prima es la astilla, la cual para poder llevar un inventario se realiza un balance donde se calcula el peso seco del total de las astillas que se tienen en stock junto con una topografía aérea. Dicho esto, existe una inquietud dentro de la planta debido a que ambos métodos entregan resultados distintos, por lo que se pidió realizar una revisión del proceso general, identificando sus pérdidas y las variables más importantes. Para poder desarrollar este trabajo fue necesario realizar entrevistas, búsqueda de información bibliográfica sobre la identificación del proceso general y pérdidas, sobre lenguajes de programación como VBA y SQL para el manejo de datos y sobre unidades de medida forestales las cuales se utilizan para cubicar la madera, entre otros.

Finalmente, los objetivos cumplidos corresponden a la identificación del proceso general y sus pérdidas, la actualización de los factores de pérdida de los procesos de harneo y descortezado, junto con la creación y propuesta de un nuevo balance el cual reduce el tiempo de trabajo, integra nuevos datos de interés y unifica los distintos balances realizados por las distintas Superintendencias dentro de la planta.

