

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR- JOSE MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE REPORTABILIDAD
BASADO EN INDICADORES DE DESEMPEÑO PARA LÍNEA DE EMBALAJE
EN CELULOSA ARAUCO PLANTA NUEVA ALDEA**

Trabajo de Titulación para optar al título
de INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
MECÁNICA DE PROCESOS Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Marcelo Alejandro Cabrera Hernández

Profesor Guía:

Ing. Andrés Eduardo Aránguiz Garrido

Profesional Correferente:

Ing. Jaime Eduardo Böhme Fuentealba

RESUMEN

Keywords: REPORTABILIDAD; CELULOSA; MANTENIMIENTO; CONFIABILIDAD; INDICADORES; WEIBULL; DASHBOARD; TABLERO DE CONTROL.

Se desarrolla sistema de reportabilidad en área de máquinas de proceso productivo de pulpa de celulosa proveniente de cosecha de pino y eucalipto para planta procesadora Arauco Nueva Aldea ubicada en la Región de Ñuble. Como primer objetivo se determinaron necesidades de interfaz y operación del sistema, las cuales se basan en requerimientos evidenciados tras proceso de auditoría del sistema de gestión de información de mantenimiento del área en cuestión, viendo reflejo de resultados en índices porcentuales de conformidad del sistema de gestión de información, siendo evaluados 4 pilares principales los cuales son: “Procedimiento”, “Acceso”, “Impacto” y “Confianza de datos”, resultando éste último como el punto énfasis por mejorar.

Como segundo objetivo se determinaron actores clave o usuarios y sus respectivas necesidades, las cuales se analizan según requerimientos por nivel de estructura organizacional, considerando recomendaciones de éstos para el resultado buscado. Se destacan la necesidad de una constante y específica medición de la confiabilidad del área y sus equipos. A su vez para esta etapa se determinaron indicadores a utilizar cada uno con su respectiva definición matemática. Para este caso se consideran cálculos de MTBF, MTTR, disponibilidad real, disponibilidad esperada. Finalmente, para el modelamiento de tasa de falla confiabilidad y función de falla se emplea la Ley de distribución de Weibull, exponiendo su metodología de manera previa a su aplicación.

Como tercer objetivo y final se desarrolló y estructuró la propuesta de sistema bajo un proceso de gestión de información de 3 etapas: un ingreso, en el cual se considera la alimentación de datos del sistema; un sistema mediador, encargado de filtrar la información requerida y realizar cálculos de indicadores; y finalmente un sistema de egreso, el cual considera una exposición de la información de manera resumida, llamativa y de fácil acceso mediante la cual se obtiene un sustento a la toma de decisiones referente al mantenimiento del área. Para este último se contempla la estructuración de un tablero de control confeccionado mediante herramientas dinámicas, mediante las cuales se exponen gráficos de comportamiento de parámetros probabilísticos, como también diagrama de bloques de las líneas productivas en cuestión, diagramas de dispersión Jackknife para la jerarquización según criticidad de los equipos y gráficos referentes a tiempos perdidos por encargados de eventos, satisfaciendo los requerimientos solicitados por parte de los usuarios.

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1 : CONTEXTUALIZACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.3. EQUIPOS CONTEMPLADOS EN LÍNEA DE EMBALAJE

1.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

CAPÍTULO 2 : ÁREA DE MÁQUINAS Y ACTORES CLAVE

2.1. ESTRUCTURA DEL ÁREA Y ACTORES CLAVE

2.2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y METODOLOGIA A APLICAR

2.3. HERRAMIENTAS GRÁFICAS DE DECISIÓN Y ANÁLISIS

2.3.1. Diagrama de dispersión logarítmico “Jackknife”

2.3.2. Diagrama de bloques de confiabilidad “RBD”

CAPÍTULO 3 : PROPUESTA DE SISTEMA DE INFORMACIÓN Y BASE DE DATOS

3.1. ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y REPORTES

3.1.1. Sistema de ingreso

3.1.1.1. Recopilación de información de fallas frecuentes vía aplicación móvil

3.1.2. Sistema mediador

3.1.3. Sistema de reporte de egreso

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A: DOCUMENTACIÓN RECOMENDADA A PREPARAR PARA REALIZAR UNA AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO

ANEXO B: DIAGRAMA GENERAL DE MODELOS DE CÁLCULO DE CONFIABILIDAD UTILIZADOS SEGÚN REQUERIMIENTOS COMUNES.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Visión de la compañía.

Figura 1-2 Presencia física de la empresa

Figura 1-3 Áreas de planta modelo de celulosa.

Figura 1-4 Área de máquinas.

Figura 1-5 Máquina cortadora modelo.

Figura 1-6 Detalle de cuchillos de cortadora.

Figura 1-7 Transportadores de Línea de eucalipto.

Figura 1-8 Transportador capaz de realizar giro.

Figura 1-9 Prensa.

Figura 1-10 Colocadora de tapa

Figura 1-11 Máquina amarradora.

Figura 1-12 Máquina Marcadora de fardos.

Figura 1-13 Máquina dobladora modelo.

Figura 1-14 Fardo embalado.

Figura 1-15 Unitizador en operación.

Figura 1-16 Nexo producto de implementación de sistema de información.

Figura 1-17 Gráfico de índices de conformidad por pilares sondeados.

Figura 2-1 Diagrama de bloques de confiabilidad modelo de la línea de embalaje.

Figura 2-2 Representación de función de densidad acumulada.

Figura 2-3 Representación según ley de distribución Weibull.

Figura 2-4 Sugerencia de aplicación de políticas de mantenimiento según evolución de tasa de fallos.

Figura 2-5 Jackknife Equipos Línea 1.

Figura 2-6 Ejemplo de sistemas relacionados en serie y paralelo.

Figura 2-7 Sistemas mixtos.

Figura 3-1 Proceso de sistema de reportabilidad

Figura 3-2 Estructura de ingreso de información

Figura 3-3 Extracto de estructura de base de datos obtenida.

Figura 3-4 Capturas de pantalla de aplicación en secuencia de utilización de derecha a izquierda.

Figura 3-5 Cálculo de indicadores preliminares por línea.

Figura 3-6 Fragmento tabla de cálculo de Ley de distribución Weibull

Figura 3-7 Fragmento tabla de cálculo de Ley de distribución Weibull

Figura 3-8 Gráfico de distribución Weibull modelo.

Figura 3-9 Diagrama Jack knife.

Figura 3-10 Tablero de control primera pantalla.

Figura 3-11 Tablero de control segunda pantalla.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Análisis SIPOC de la línea de embalaje como conjunto.

Tabla 1-2 Interrogantes de evaluación de sistema de información.

Tabla 1-3 Pilares sondeados mediante auditoría.

Tabla 3-1 Tabulación de datos distribución Weibull.

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1-1 Diagrama general del proceso productivo de celulosa.

Esquema 1-2 Diagrama general de una línea de embalaje.

Esquema 1-3 Relación entre elementos clave de un sistema de gestión de activos.

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1) Índice de conformidad

(2) Cálculo de MTTR

(3) Cálculo de MTBF

(4) Disponibilidad Esperada

(5) Disponibilidad Real

(6) Función densidad de Falla acumulada

(7) Confiabilidad

(8) Ley de distribución Weibull: Función densidad de falla

(9) Ley de distribución Weibull: Tasa de fallas

(10) Ley de distribución Weibull: Confiabilidad

(11) Aproximación de Bernard de función de falla acumulada

(12) Ranking de falla de eventos ajustado

(13) Ley de distribución de Weibull: Función densidad de falla acumulada

(14) Linealización Función de densidad de falla

(15) Límite Jackknife MTTR

(16) Límite Jackknife Cantidad de eventos

(17) Confiabilidad sistemas en serie

(18) Confiabilidad sistemas en paralelo

(19) Confiabilidad sistemas mixtos

SIGLAS Y SÍMBOLOGÍA

PIB	:	Producto interno bruto.
MTTR	:	Tiempo medio entre reparaciones (Medium time to repair).
MTBF	:	Tiempo medio entre fallas (Medium time between failures)
ERP	:	Enterprise Resource Planning.
TAG	:	Etiqueta de equipo.
OT	:	Orden de trabajo.
m	:	Metro.
t	:	Tonelada.
ADt	:	Tonelada Seca al Aire (Air Dry Tonne)
SIPOC	:	Suppliers Input Process Output Customers.
RBD	:	Diagrama de confiabilidad de bloques (Reliability Block Diagram).
Ai (t)	:	Disponibilidad (Ability).
R (t)	:	Confiabilidad (Reliability).
f (t)	:	Función densidad de falla.
F (t)	:	Función densidad de falla acumulada.

INTRODUCCIÓN

La industria forestal y de producción de derivados de ésta, contempla una gran presencia a nivel de producción nacional, reflejándose en un 1,8% del PIB para el año 2017 y alcanzando para el año 2018 \$ 6.667.000 (USD) en exportaciones, teniendo como resultado un aumento respecto del 2017 de un 24%. Su presencia en el mercado se logra mediante productos referentes a construcción, papeleras y maderas elaboradas, siendo la pulpa de celulosa quien lidera la lista de productos forestales exportados, destacando su importancia como una materia prima altamente demandada a nivel internacional.

Celulosa Arauco y Constitución S.A. es una empresa que abarca desde el proceso de forestación y cosecha, hasta la producción de celulosa, maderas elaboradas y paneles. Una de sus principales sedes productivas, es la planta de celulosa ubicada en Nueva Aldea, Región de Ñuble. El trabajo se enfatiza en el área de máquinas de esta planta, en donde se lleva a cabo la etapa final del proceso productivo y donde se concentra una considerable cantidad de activos físicos.

Considerando la incidencia en la línea productiva de los equipos referentes al área a estudiar y la carencia de un sistema de gestión de información complementario, es que se puede establecer que la utilización de un sistema eficiente de información aporta confianza y es de suma importancia en un área la cual se basa en gran medida de datos históricos, resultando en un mejor nexo de comunicación entre operarios y encargados de gestionar las decisiones y acciones de mantenimiento, logrando un mejor conocimiento del contexto en el cual se desenvuelven los equipos, demostrándose esto en los indicadores de desempeño con los cuales se logra un control del proceso.

Para llegar al objetivo en común de ser un aporte a la interfaz de información, se debe conseguir una sinergia entre el sistema usado actualmente con la implementación buscada, por lo que es evidente la necesidad de diagnosticar y destacar las condiciones actuales del proceso de gestión de información en la empresa, para reforzar los puntos más débiles obtenidos en el proceso de auditoría, el cual es el primer paso para desarrollar una propuesta de esta índole.

Por consiguiente, y tras determinar los puntos de mejora obtenidos, se definirán los diferentes actores claves del proceso de gestión, desprendiendo de estos las necesidades requeridas para estructurar el sistema, a su vez determinando los parámetros a censar siendo reflejados en indicadores de desempeño, mediante los cuales se puede realizar un control de las acciones de mantenimiento llevadas a cabo en el área de máquinas y nivel productivo de ésta.

Finalmente, y como tercer objetivo se desarrollará la propuesta del sistema de reportes basándose principalmente en las solicitudes de sus usuarios y disponibilidad de recursos de la organización, haciendo uso de herramientas de cálculo y gráficas del área de gestión del mantenimiento, mediante las cuales se procesarán los datos obtenidos por los usuarios para resultar en información confiable y útil para el proceso de gestión de información y, por consiguiente, para la empresa.

A continuación, se exponen los cimientos, contexto de la problemática y bases de la metodología del proceso de auditoría, método por el cual se busca censar y obtener recomendaciones de los potenciales usuarios del sistema de información, para continuar con la determinación y descripción de las herramientas requeridas a aplicar, mediante las cuales se busca la estructuración de la propuesta acorde a las necesidades evidenciadas durante el proceso, dando paso a recomendaciones de implementación y alcance de la propuesta.

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar sistema de reportabilidad basado en indicadores de desempeño, proponiendo nuevo método de ingreso de información, para el fortalecimiento del respaldo y certeza en la toma de decisiones en acciones de mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar diagnóstico de situación actual en línea de embalaje, mediante auditoría del proceso de gestión de mantenimiento, para localización de oportunidades de mejora.
- Definir actores claves del proceso de gestión, determinando necesidades requeridas, con objeto de generación de indicadores de desempeño que representen la evolución de mejoras en las actividades del área.
- Desarrollar propuesta y estructura de sistema de ingreso de reportes de turno y acciones de mantenimiento, definiendo base de datos y cálculos de indicadores empleados, con fin de demostración de alcance de impacto del sistema en el proceso de gestión.

CAPÍTULO 1 : CONTEXTUALIZACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

1.1. **ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

Celulosa Arauco y Constitución S.A, remonta sus orígenes en 1967, año donde el cual CORFO, en su búsqueda por desarrollar los recursos forestales del país, aumentar la empleabilidad en zonas aisladas y mejorar la calidad de recursos de suelo en terrenos agrícolas degradados, crea Celulosa Arauco S.A y posteriormente, un año después, Celulosa Constitución S.A. Luego de un periodo de 10 años, y tras ser privatizadas ambas compañías, se produce la adquisición de estas por la actual COPEC S.A, accionista mayoritario de la fusión de organizaciones.

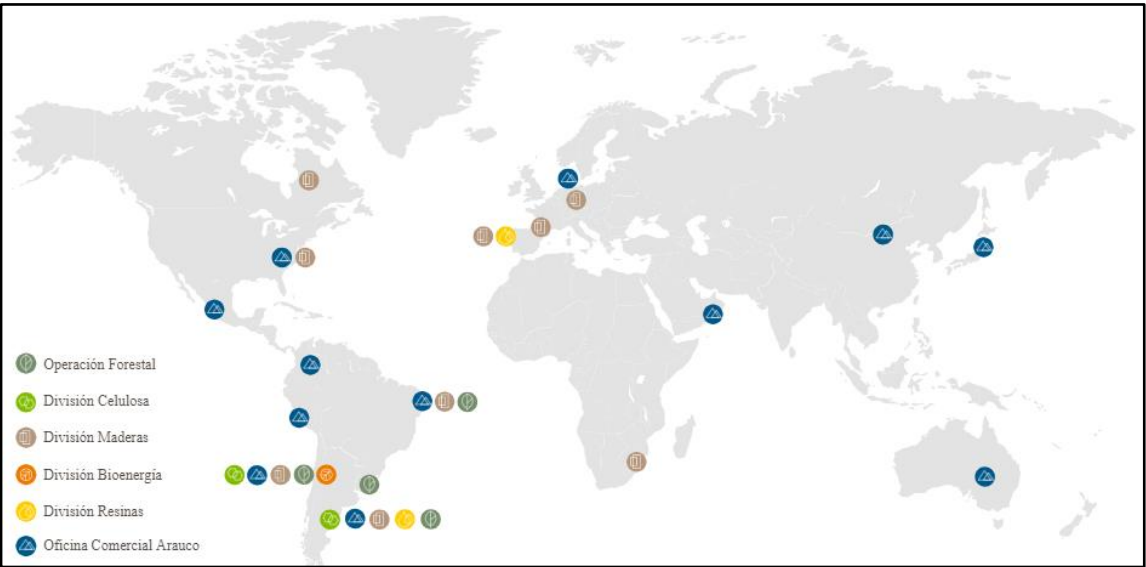
En la actualidad, la empresa forestal chilena cuya visión se expone en la Figura 1-1, comprende cuatro sectores industriales principales, los cuales son: Industria forestal, Industria de celulosa, Industria de paneles e Industria de Madera Aserrada. Es por esto que la empresa comprende desde un inicio temprano las actividades de su cadena de valor, viéndose incluidas la plantación, manejo y tala de la materia prima y por consiguiente la fabricación de productos derivados de la madera obtenida proveniente de cultivos de Pino Radiata, Taeda y Eucalyptus Globulus y Nitens.



Fuente: Reporte de sustentabilidad 2016

Figura 1-1 Visión de la compañía.

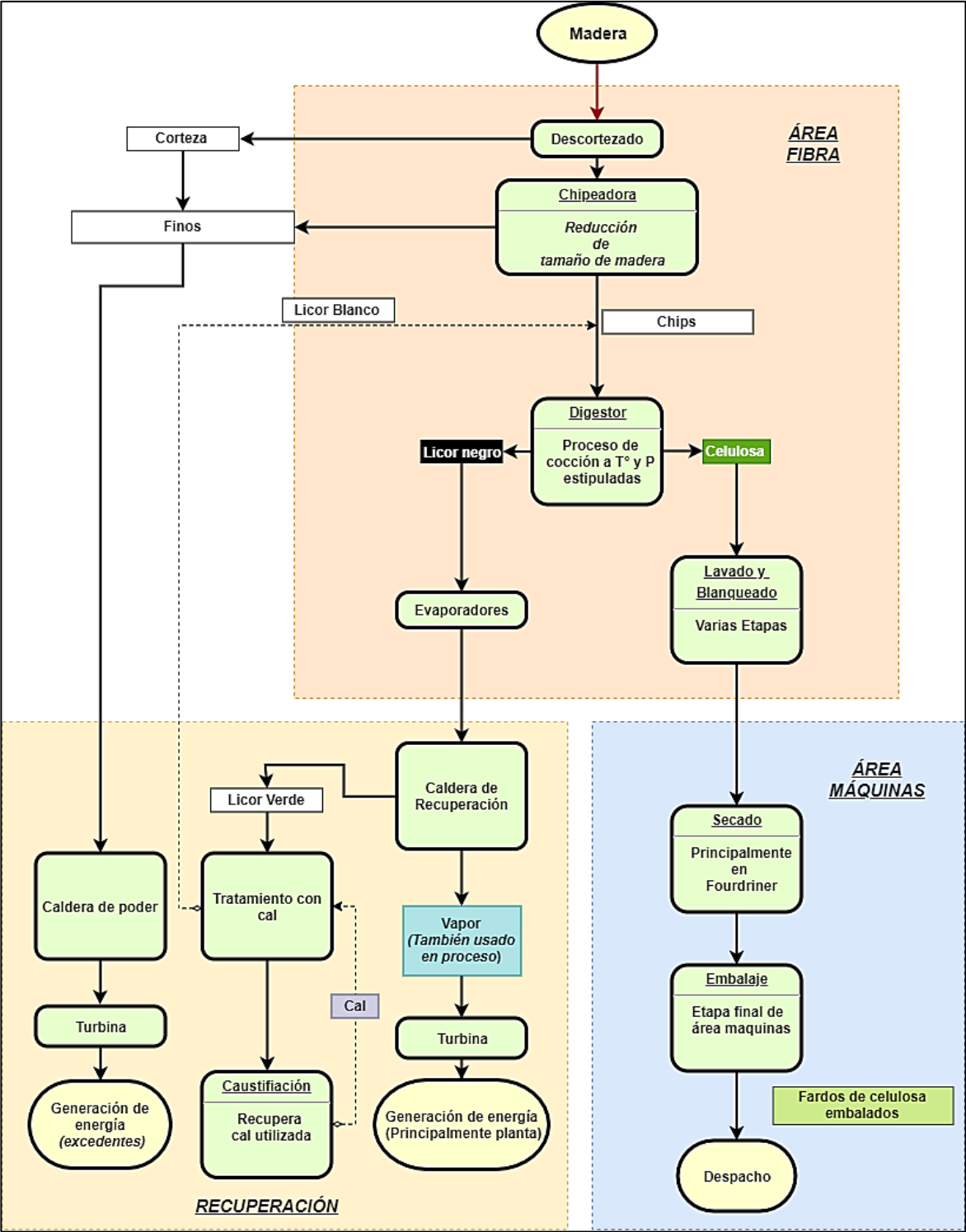
Dentro de sus marcas, se contempla una gama de productos como: molduras, vigas laminadas, maderas elaboradas, tableros desnudos, tableros recubiertos y celulosa. Siendo este último segmentado en 4 tipos: celulosa blanqueada de eucalipto (EKP), celulosa blanqueada de pino (BKP), celulosa cruda de pino (UKP) y celulosa cruda de pino Taeda (FLUFF).



Fuente: www.arauco.cl/chile/este_es_arauco/nuestros-negocios/

Figura 1-2 Presencia física de la empresa

Como se puede apreciar en la Figura 1-2, Arauco posee divisiones en los 5 continentes, pero la producción de los distintos tipos de celulosa se concentra en sud-américa. Específicamente en la planta de Nueva Aldea, lugar en donde se enmarca este estudio, se tiene una capacidad de producción anual de 1.027.000 toneladas métricas de celulosa blanqueada tipo Kraft de manera continua, en sus líneas tanto para pino y eucalipto, según su reporte de sustentabilidad del año 2017. Dentro de esta planta se comprenden los 3 procesos básicos para una industria de esta índole los cuales son: extracción de celulosa (fibra), recuperación de energía y tratamiento de efluentes, demostrando en estos, un compromiso con el medio ambiente en el énfasis a la sustentabilidad y optimización del proceso productivo, el cual se presenta de manera más detallada e ilustrativa en el Esquema 1-1

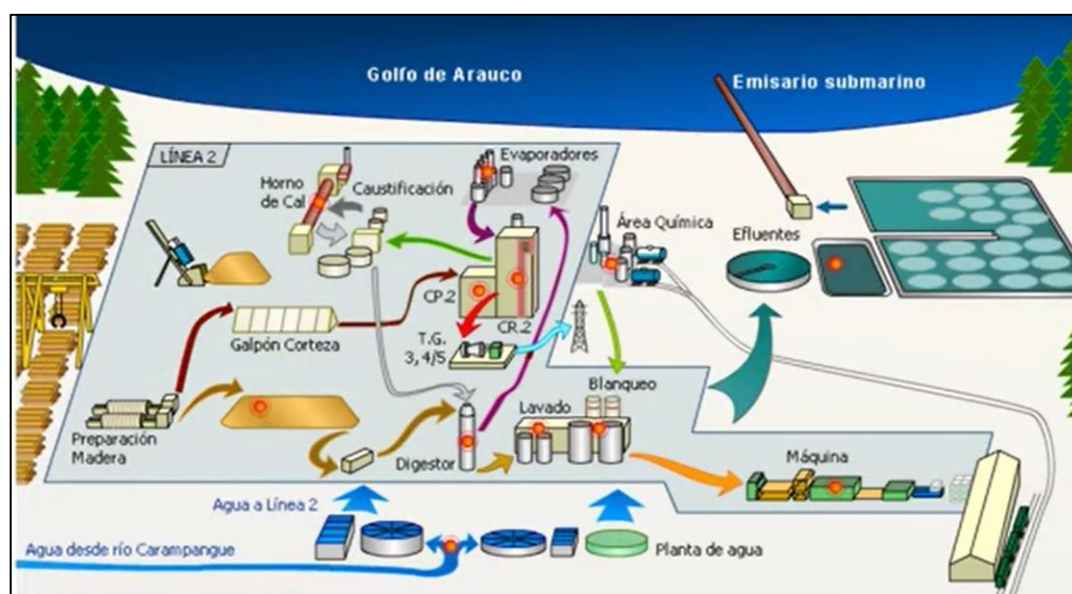


Fuente: Elaboración propia mediante draw.io

Esquema 1-1 Diagrama general del proceso productivo de celulosa.

Dentro de la planta en estudio, se puede determinar una subdivisión del proceso en 3 áreas principales: “Área Fibra”, “Área Máquinas” y “Recuperación”, como se aprecia en el esquema anteriormente expuesto. Por consiguiente y de manera referencial a una distribución física, se puede segmentar el proceso en subáreas según etapas pertinentes al trabajo, las cuales se aprecian en la Figura 1-3, estas son:

- Preparación Madera
- Digestor
- Lavado
- Blanqueo
- Máquinas

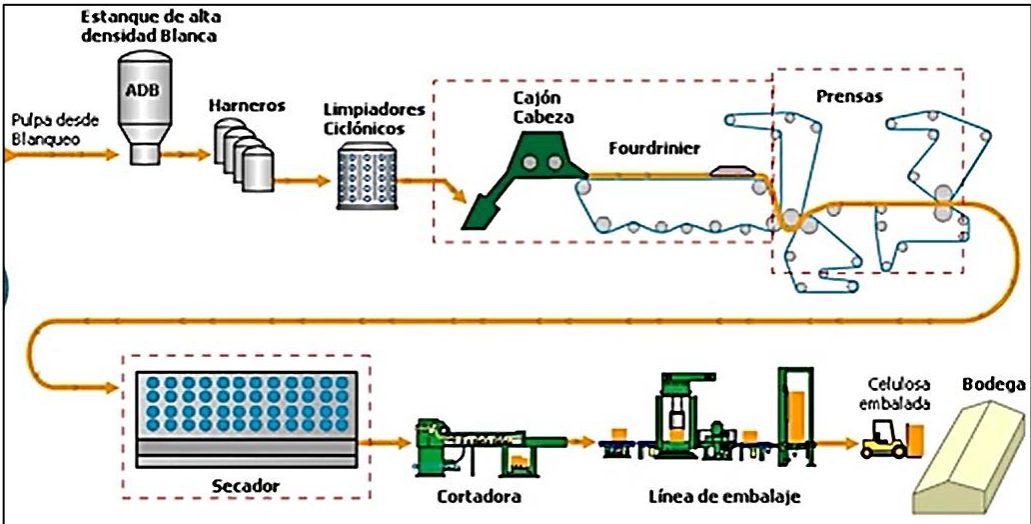


Fuente: web.arauco.cl

Figura 1-3 Áreas de planta modelo de celulosa.

El enfoque de estudio estará puesto en el área de máquinas, lugar donde se procesa la pulpa obtenida del proceso de blanqueo, para ser secada y posteriormente envasada, obteniendo como producto final fardos de masa muy cercana a una tonelada, los cuales son transportados u almacenados según lo exija la demanda.

Dentro de esta área se comprende principalmente la extracción del agua de la pulpa mediante drenajes por gravedad y vacío, lo que se logra mayoritariamente en el equipo “Fourdrinier” dando paso a una lámina blanca continua, posteriormente esta pasa por las prensas para llegar al secador, en donde mediante aire a alta temperatura se logra llegar a un 98% de secado. Finalmente, la hoja obtenida es seccionada en la máquina cortadora, para ser confeccionado el formato de fardo en la línea de embalaje. Esta área en general (Máquinas) debe su gran importancia dentro del proceso a su natural repercusión por ser la etapa final de un proceso de producción e inicio de acciones en operaciones logísticas de distribución como se muestra en la Figura 1-4.



Fuente: web.arauco.cl

Figura 1-4 Área de máquinas.

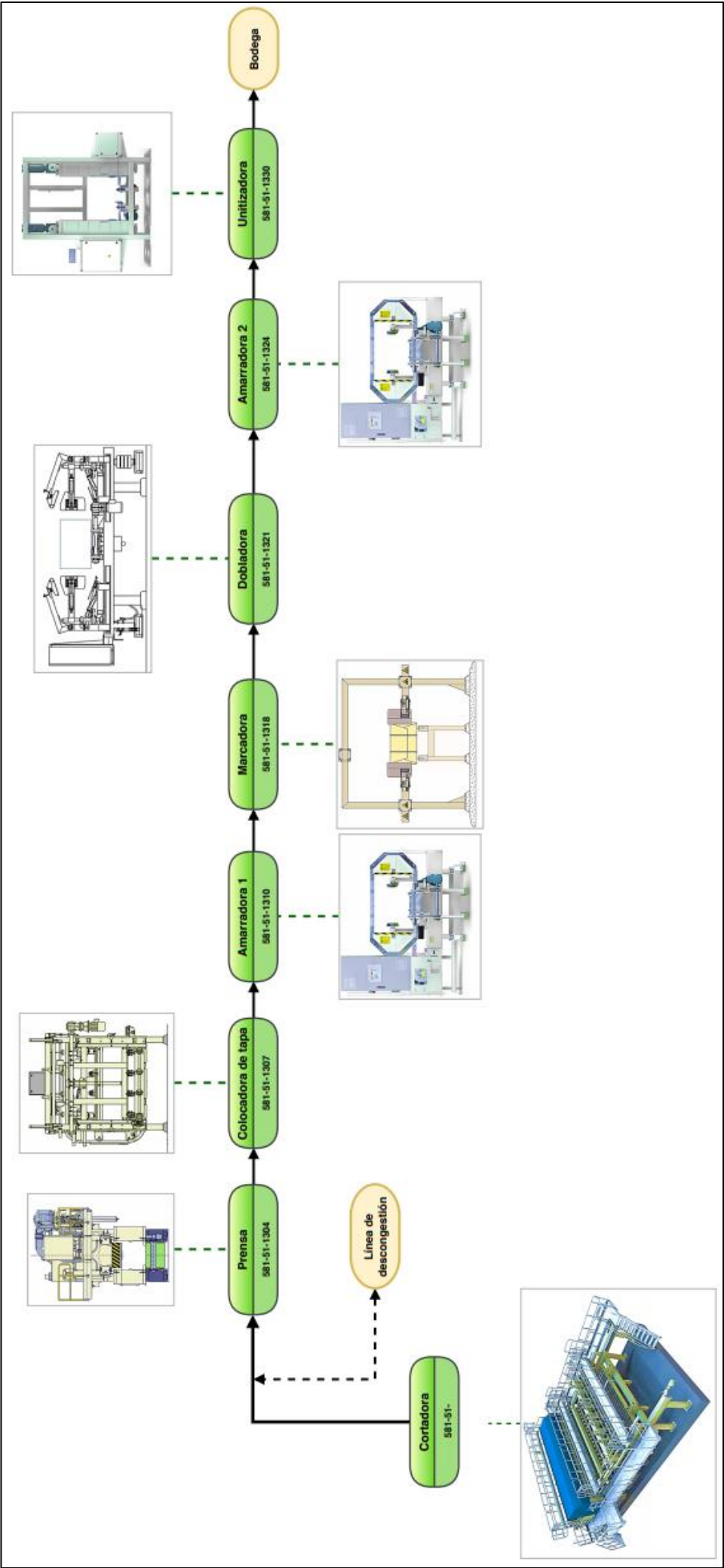
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para el proceso de embalaje de las hojas de pulpa de celulosa se contemplan dos líneas: línea 1 para pulpa de celulosa de pino y línea 2 y 3 para pulpa de celulosa de eucalipto, ambas son de similares características en cuanto nivel de producción y equipos utilizados cuya disposición y acción dentro de cada línea se muestra de manera ilustrativa en el Esquema 1-2 De manera general en ambas líneas se exige embalar el producto recibido desde el proceso de secado y obtener un fardo apto para las condiciones a las que se expone el producto en las acciones de logística posterior. Los requerimientos y características del proceso de embalaje se muestran en el análisis SIPOC de la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Análisis SIPOC de la línea de embalaje como conjunto.

S (Suppliers)	Secador Fourdrinier.
I (Input)	Hoja de celulosa continua de 5680 (mm) de ancho, a un 98% de seco.
P (Process)	Seccionar y embalar hojas de celulosa a un nivel de 2800 (ton/día).
O (Output)	Fardos de celulosa empacados, etiquetados y unificados en formato de 1 (ADt).
C (Customers)	Bodega y distribución.

Fuente: Elaboración propia.

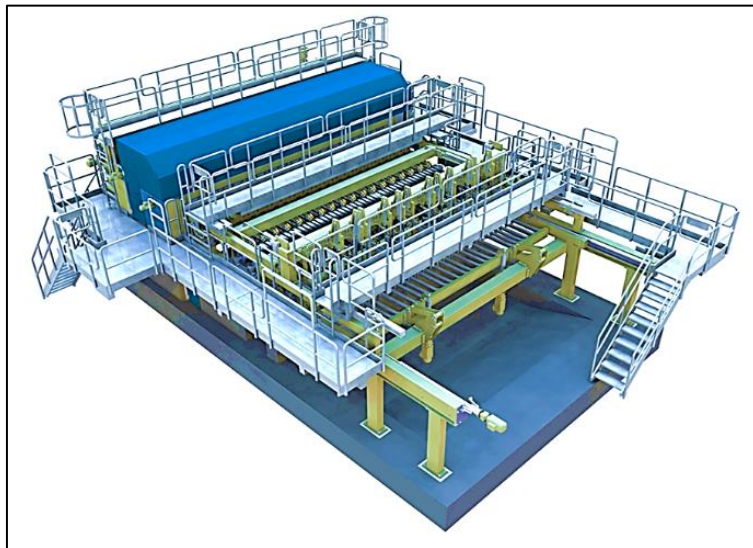


Fuente: Elaboración propia

Esquema 1-2 Diagrama general de una línea de embalaje.

1.3. EQUIPOS CONTEMPLADOS EN LÍNEA DE EMBALAJE

El proceso de embalaje se inicia en la máquina “Cortadora” cuyo diseño se aprecia en la Figura 1-5, esta es alimentada por la prensa de extracción, la cual tracciona la hoja de celulosa proveniente del secador “Fourdrinier” a un nivel de seco del 98%, parámetro requerido para lograr un corte correcto. Esta máquina realiza el seccionado de la hoja mediante dos cuchillos ubicados uno a cada lado de un rodillo, como se muestra en la Figura 1-6, el cual lleva a cabo su tarea realizando dos cortes por revolución del eje.



Fuente: Catálogo Andritz

Figura 1-5 Máquina cortadora modelo.



Fuente: Catálogo Valmet Cross cutter.

Figura 1-6 Detalle de cuchillos de cortadora.

Inmediatamente posterior al seccionado de la hoja de pulpa de celulosa, se da paso a la acumulación de estas en 8 pilas para formar fardos, los cuales se seccionan por peso, el cual es determinado por celdas de carga, todo esto en la misma máquina cortadora.

Las pilas separadas se distribuyen de manera automática por la línea mediante transportadores como se expone en la Figura 1-7, cuyo avance es monitoreado y controlado a través de sensores, mediante los cuales se logra realizar un posicionado correcto de las hojas requerido por la siguiente etapa de prensado.



Fuente: Propia.

Figura 1-7 Transportadores de Línea de eucalipto.

Se debe mencionar que todo el traslado durante el proceso de embalado en las líneas 1, 2 y 3, es realizado por un total de 17 transportadores que conforman la cinta transportadora en su totalidad para cada una de las líneas, dentro de la cual se contempla un giro de 90 grados entre el proceso de corte y prensado llevado a cabo por un transportador específico para la maniobra como se muestra en la Figura 1-8 .



Fuente: Propia

Figura 1-8 Transportador capaz de realizar giro.

Posteriormente se da lugar al proceso de prensado el cual es semiautomático, en este, se puede evitar una acumulación de hojas o congestión de línea, bifurcando con antelación, a una línea que cumple función de stock pile ubicada a un costado de la línea principal, la cual almacena de manera circunstancial los fardos acumulados por retrasos y los devuelve al proceso por orden del operario.

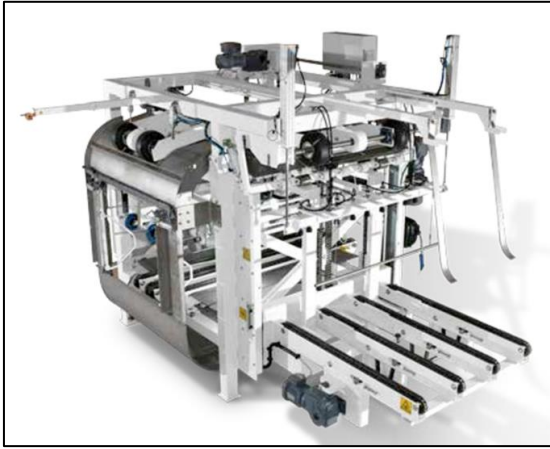
La prensa, mostrada en la Figura 1-9, funciona considerando un ciclo cercano a los 12 segundos, llevado a cabo mediante la acción de 4 cilindros hidráulicos, los que realizan en una primera instancia un ciclo de “pre-prensado”, continuando con un ciclo de prensado de mayor fuerza. Se considera este equipo como el centro del sistema, siendo uno en los que se ve un mayor potencial de generar un “cuello de botella” en la línea.



Fuente: Propia

Figura 1-9 Prensa.

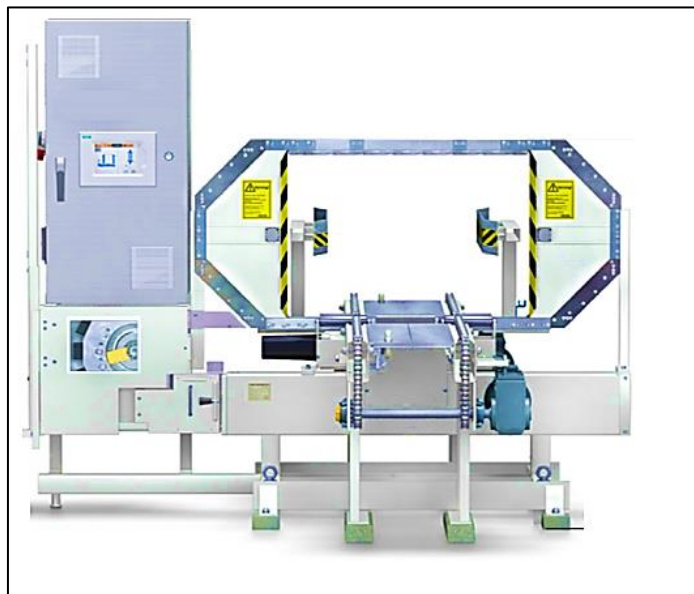
Posterior a esto, se continua con el proceso de embalaje en la “Colocadora de tapa” mostrada en la Figura 1-10, cuyo ciclo es completamente automático. Las tapas están dispuestas a un costado de la línea y son manipuladas mediante un sistema electroneumático realizando un recubrimiento parcial de las hojas de celulosa apiladas.



Fuente: Catálogo Valmet, Robboapplyer.

Figura 1-10 Colocadora de tapa

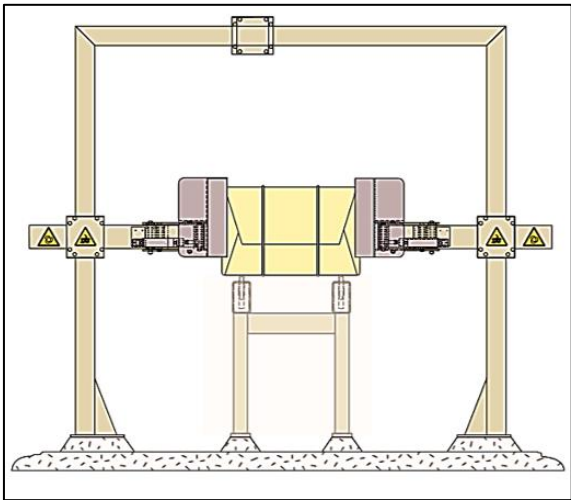
En una etapa siguiente, se asegura el posicionado de la tapa colocada en la primera máquina amarradora (Figura 1-11), la cual es completamente automática y utiliza alambre para llevar a cabo la tarea mediante servomotores, realizando un primer amarre transversal al largo del fardo.



Fuente: Catálogo Valmet Robotyer

Figura 1-11 Máquina amarradora.

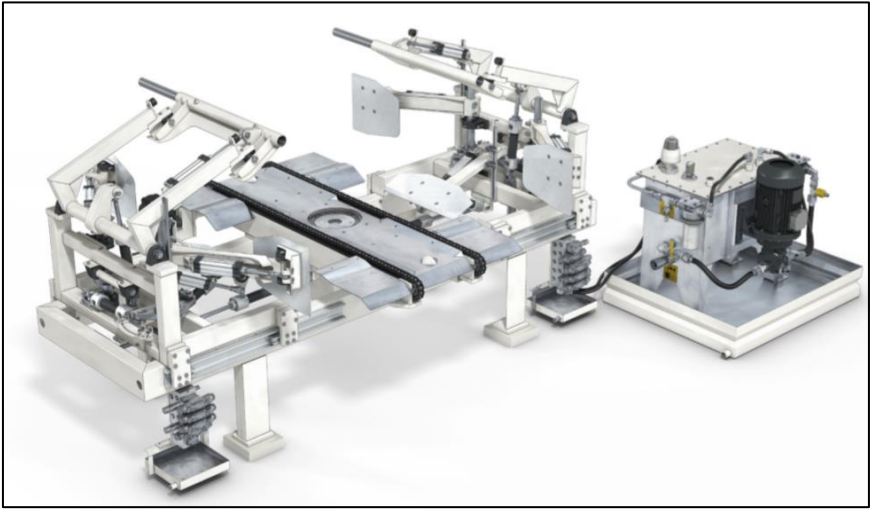
Luego de esto, se rotulan los fardos en la máquina “Marcadora”, expuesta en la figura Figura 1-12, a los cuales se les designa un código único, de esta manera se obtiene la trazabilidad de cada fardo, obteniendo un mejor rastreo, control del producto y noción del proceso general de producción.



Fuente: Catálogo Valmet Inkjet

Figura 1-12 Máquina Marcadora de fardos.

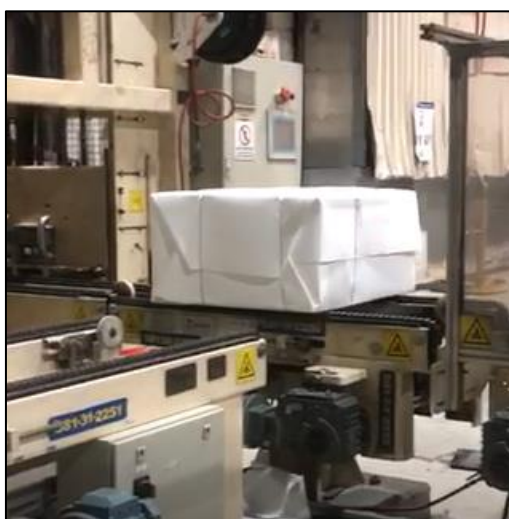
Posteriormente como se aprecia en el Esquema 1-2 , se procede a plegar los extremos de las tapas en la “máquina dobladora” mostrada en la Figura 1-13, la cual consta de un sistema neumático e hidráulico para llevar a cabo su labor de doblar los extremos sobrantes del recubrimiento posicionado en etapa anterior.



Fuente: Catálogo Valmet Robofolder

Figura 1-13 Máquina dobladora modelo.

Posterior al doblado de los extremos de la tapa, se culmina la forma final de los fardos tras realizar su labor una segunda máquina de amarre por alambres, en esta ocasión, de manera longitudinal al largo de las hojas, resultando un fardo embalado como se muestra en la Figura 1-14.



Fuente: Propia

Figura 1-14 Fardo embalado.

Finalmente, en la Unitizadora mostrada en la Figura 1-15, se culmina el proceso de la línea. En esta etapa, al igual que en la prensa, hay una alta probabilidad de producirse un retraso, siendo potencial origen de atochamientos en la línea, debido a que en este lugar se busca apilar y amarrar unidades de 4 fardos para lograr un manejo óptimo del producto, considerando que, el ciclo de trabajo de este equipo es de menor velocidad referente a la capacidad de producción de las maquinas anteriores.

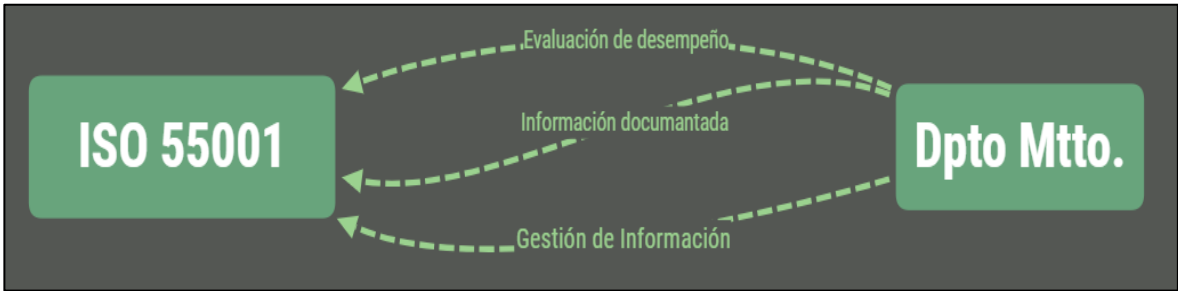


Fuente: Propia.

Figura 1-15 Unitizador en operación.

1.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

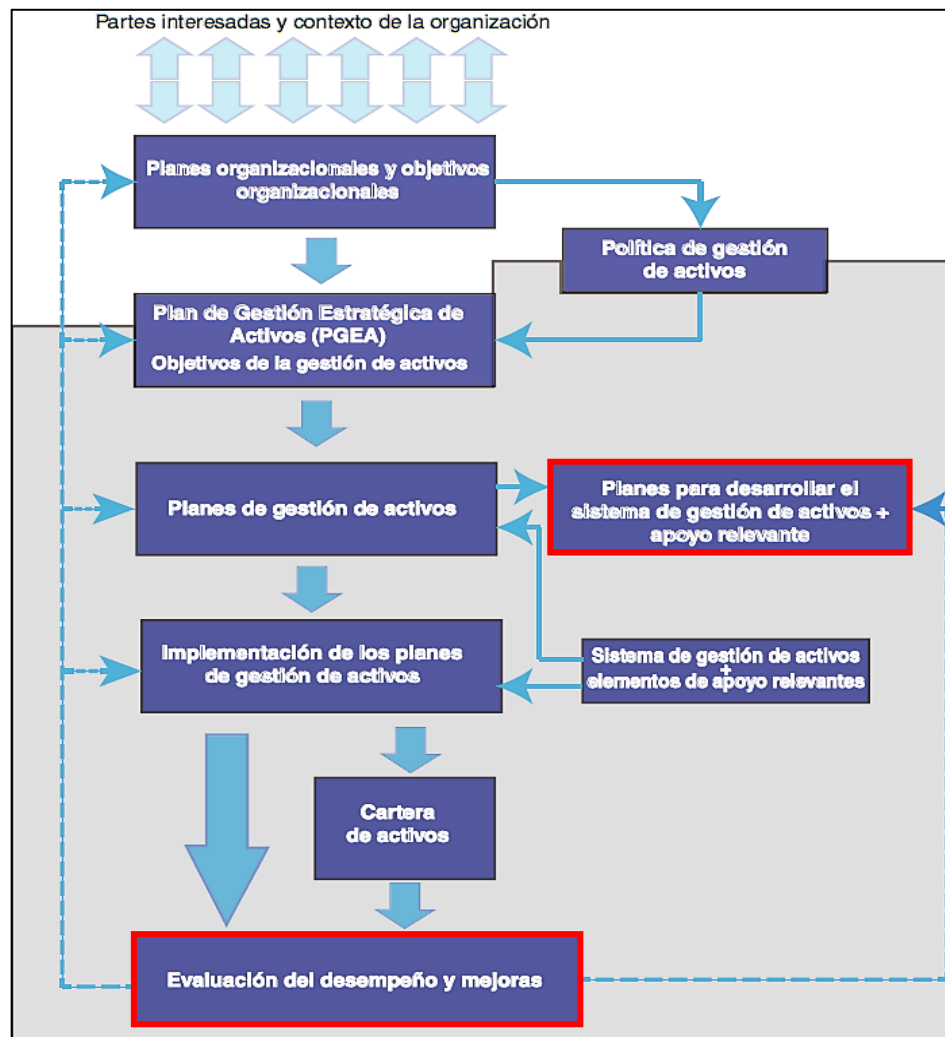
Tomando como base, los lineamientos planteados por la norma de gestión de activos ISO 55000, se considera pertinente denotar el nexo provocado por la potencial implementación de un sistema de reportabilidad, entre esta y el departamento de mantenimiento del área, para posteriormente, evaluar el desempeño actual de la gestión de la información que esté directamente relacionada con la medición del desempeño de la productividad de la línea en cuestión, interpretándose en la Figura 1-16. En la norma ISO 55001 específicamente en el punto 7 y 9 se plantea que es necesario tener sistemas que permitan gestionar la información de buena manera para, de esta forma, realizar mediciones y controlar el proceso incidiendo en pro de una mejora continua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-16 Nexo producto de implementación de sistema de información.

Como se puede apreciar en el Esquema 1-3 el sistema de reportabilidad se ve considerado dentro de la relación de elementos clave de un sistema de gestión de activos y en línea con los objetivos si se consideran su relación con los conceptos de “Evaluación de desempeño y mejoras” y “Elementos de apoyo relevantes”, puntos los cuales contemplan requisitos incluidos en los incisos de Apoyo y Evaluación del desempeño previamente mencionados (7 y 9).



Fuente: Extracto Norma ISO 55000

Esquema 1-3 Relación entre elementos clave de un sistema de gestión de activos.

Como primer paso, y previo al desarrollo del sistema, se considera necesaria la realización de un análisis inicial de la situación actual del sistema de información empleado para llevar a cabo las acciones de mantenimiento de la línea de embalaje en cuestión para, por consiguiente, continuar con un diagnóstico de las aparentes potencialidades que se pueden encontrar. Para esto es recomendable la ejecución de un proceso de auditoría mediante el cual se medirán los parámetros necesarios. Previo a este proceso, se requiere de la recopilación de información pertinente al área de trabajo, determinando los participantes y los puntos principales a investigar. Estos contemplan en su ideal:

- Operarios (Cargos y Organigrama del departamento)
- Medios técnicos
- Métodos de trabajo
- Disposición física y de espacio

Esto, con objeto de realizar la entrega de un informe final, en el cual se especifique los puntos medidos y calificaciones obtenidas en las cuales se basen las recomendaciones de mejora y por consiguiente se planteen propuestas de realización necesarias para tomar acción en una potencial implementación del sistema.

Las interrogantes planteadas para evaluar el sistema de información del mantenimiento son las indicadas en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Interrogantes de evaluación de sistema de información.

1	¿Todos los trabajos que se realizan se respaldan por una orden de trabajo?
2	¿El formato de esta orden de trabajo es adecuado?
3	¿Los operarios completan correctamente estas órdenes?
4	¿Las órdenes de trabajo se introducen en el sistema informático?
5	¿El sistema informático de mantenimiento resulta apropiado a las necesidades?
6	¿El sistema informático supone un procedimiento engorroso?
7	¿El sistema informático aporta información útil al proceso de gestión?
8	¿El sistema informático aporta información confiable?
9	¿Es de fácil acceso el sistema de ingreso de información?
10	¿El sistema de ingreso de información es de fácil utilización?
11	¿Los mandos de mantenimiento consultan habitualmente la información contenida en el sistema?
12	¿Los operarios de mantenimiento consultan habitualmente la información contenida en el sistema?
13	¿Se tiene un acceso rápido a la información necesaria de mantenimiento?
14	¿Se emite un informe periódico que expone la evolución del departamento de mantenimiento?
15	¿El informe aporta información útil para la toma de decisiones?
16	¿La disponibilidad media de los equipos significativos es la adecuada?
17	¿La disponibilidad media de la línea es la adecuada?
18	¿La evolución de la disponibilidad es positiva (está aumentado la disponibilidad)?
19	¿El tiempo medio entre fallos en equipos significativos es el adecuado?
20	¿La evolución del tiempo medio entre fallos en equipos significativos es positiva?
21	¿El número de O.T. de emergencia es bajo? .
22	¿El número de O.T. de emergencia está descendiendo?
23	¿El MTTR en equipos significativos es bajo?
24	¿El MTTR en equipos significativos está descendiendo?
25	¿El número de averías repetitivas es bajo?
26	¿El número de averías repetitivas está descendiendo?
27	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento es el adecuado?
28	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento está descendiendo?

Fuente: Elaboración Propia basada en Auditorías de mantenimiento referentes a norma ISO 55001

Estas preguntas, deben ser respondidas con uno de los 4 niveles de satisfacción acorde a la interrogante:

- 3: muy favorable.
- 2: aceptable pero mejorable.
- 1: desfavorable, es necesario un cambio.
- 0: totalmente desfavorable.

Finalmente, se debe obtener un valor numérico expresado en porcentaje, el cual es denominado “Índice de Conformidad” (I.C), siendo este la razón del total de puntos obtenidos entre la cantidad del puntaje ideal.

$$I.C = \frac{Puntaje\ Obtenido}{Puntaje\ Ideal} \cdot 100 \tag{1}$$

Con este indicador, se obtendrá el valor de satisfacción que se tiene en la actualidad, siendo fundamental para evaluar el desempeño del sistema tras una posible implementación.

De la metodología expuesta anteriormente, se definen 4 parámetros los cuales segmentan las preguntas de la auditoria enlazándolas a cuatro conceptos expuestos en la Tabla 1-3, los cuales son los pilares que se buscan evaluar y fortalecer según sea el caso mediante la hipotética implementación de la propuesta, indicando un índice de conformidad para cada uno.

Tabla 1-3 Pilares sondeados mediante auditoría.

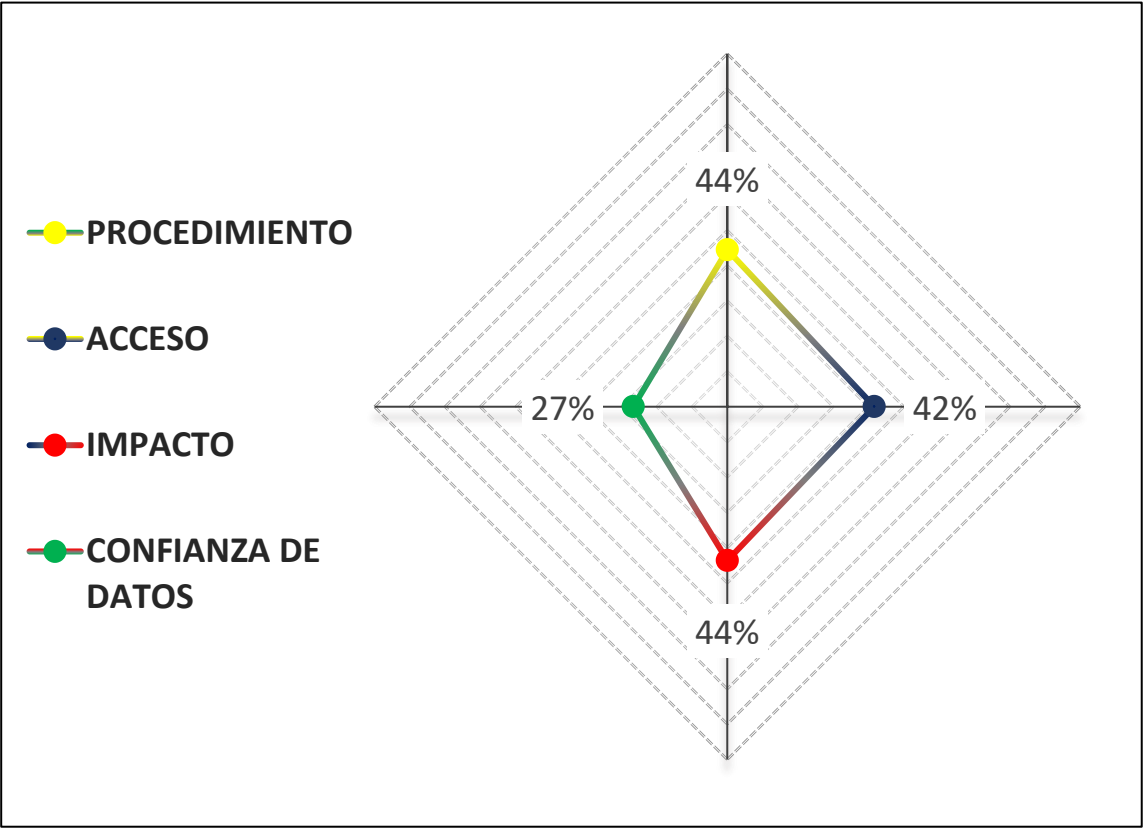
PROCEDIMIENTO	Referente a la metodología usada en las acciones y su nivel de cumplimiento.
ACCESO	Hace alusión a la facilidad de incorporar datos al sistema y nivel de dificultad de uso de hardware y software.
IMPACTO	Alcance y manera en la que el uso del sistema informático ayuda al proceso y refleja mejoras.
CONFIANZA DE DATOS	La magnitud en la que son utilizables la información otorgada o ya disponible en la base de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Se consideran 4 niveles de satisfacción para los índices de conformidad mediante los cuales se diagnosticará cada uno de estos parámetros, los cuales son:

- Índice de conformidad **perjudicial**: $0\% < I.C \leq 25\%$
- Índice de conformidad **insatisfactorio**: $25\% < I.C \leq 50\%$
- Índice de conformidad **mejorable**: $50\% < I.C \leq 75\%$
- Índice de conformidad **satisfactorio**: $75\% < I.C \leq 100\%$

Se contempla y diagnostica la situación actual, aplicando la metodología anteriormente expuesta, obteniendo los resultados expuestos en el gráfico mostrado en la Figura 1-17, tras consultar la contingencia del área mediante visitas guiadas y consultoría con encargados de la línea, obteniendo comentarios y observaciones del proceso de gestión llevado a cabo actualmente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-17 Gráfico de índices de conformidad por pilares sondeados.

Como se muestra en la Figura 1-17, se extrae que los puntos más débiles tras realizar una medición del nivel de satisfacción del sistema actual, es la confianza en los datos, seguido del acceso, para finalmente dar paso el impacto y procedimiento.

Mediante eso se puede desprender que el sistema actual de gestión e información no cumple con un nivel de satisfacción esperados por los usuarios, dado que en los cuatro puntos evaluados su desempeño es menor a la mitad de un total esperado, por los que según lo estipulado anteriormente se considera de un nivel insatisfactorio. Se destaca la mala evaluación que se tiene en el apartado de confiabilidad de datos, llegando a bordear un nivel perjudicial, lo que indica que la validez de la mayoría de la información de fallas considerada en la base de datos actual no es útil en su totalidad para ser empleada en decisiones acorde a acciones de mantenimiento.

CAPÍTULO 2 : ÁREA DE MÁQUINAS Y ACTORES CLAVE

2.1. ESTRUCTURA DEL ÁREA Y ACTORES CLAVE

Se debe considerar como “usuario” a todo actor influyente dentro de las acciones de mantenimiento contempladas en la línea, abarcando los tres niveles organizacionales: estratégico, táctico y operacional, en los cuales se estiman diferentes necesidades y requerimientos de información y aplicación. En un primer nivel operacional se consideran:

- Operadores de las máquinas
- Mantenedor
- Supervisores de mantenimiento

Actores quienes serán los encargados de proporcionar la información al sistema, teniendo a su favor una cercanía y consciencia mayor del proceso productivo y los equipos empleados, considerando su contexto operacional. De esta parte se obtiene el “feedback” de requerimientos y observaciones de los sucesos en terreno. Los requerimientos principales de este nivel son principalmente, un sistema eficiente e intuitivo, mediante el cual una sencilla aplicación se aporten los datos justos y necesarios, evitando necesitar periodos de tiempo considerables para proporcionar la información.

En un siguiente nivel táctico se contemplan, actores los cuales gestionan las acciones y recursos específicos del área. En este caso se contempla que la utilización de la interfaz de ingreso de información es utilizada en menor medida en comparación al nivel anterior, esperando del sistema principalmente la obtención de indicadores (no globales), que demuestren el desempeño de las acciones que se estén tomando a un corto/mediano plazo y sustenten las decisiones de técnicas aplicadas a los planes de mantenimiento, siendo útil para este caso indicadores como disponibilidad, tiempos de detención por área y herramientas de decisión como el diagrama Jackknife. De manera ilustrativa para este nivel se contemplan actores como:

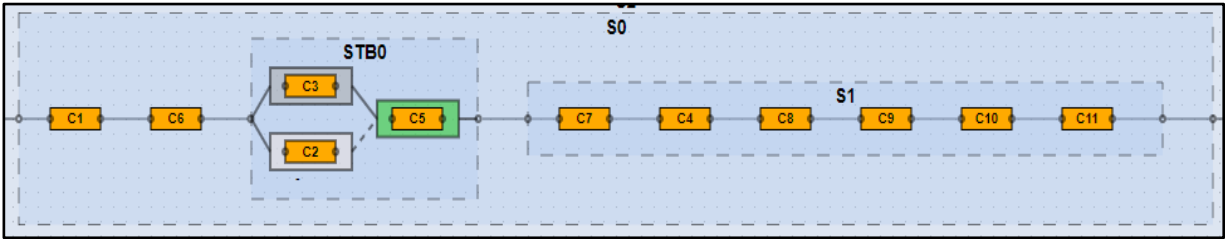
- Jefe Operación
- Jefe Mantenimiento (eléctrico y mecánico)

Para el nivel estratégico se requiere la obtención de información de manera clara y concisa de indicadores globales del sistema mediante los cuales se pueda definir de manera certera las políticas de mantenimiento a emplear y por consiguiente a modo de ejemplo, la toma de decisiones referentes a realización de cambio de equipos y determinación de ciclos de vida de equipos mayores, apoyándose a su vez por observaciones del nivel estratégico, siendo idóneos indicadores como disponibilidad global de un área y confiabilidad de sistemas. Para este nivel se puede considerar como actor clave o usuario:

- Superintendente de planta.

2.2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y METODOLOGIA A
APLICAR

Es requerido por los actores, la obtención de indicadores que contemplen una medición rápida y sencilla, mediante la cual se exprese en métodos gráficos la evolución de la línea en general, exponiendo sus restricciones y evolución, esto a fin de la obtención de disponibilidad y confiabilidad el cual se busca esquematizar, por ejemplo, en un diagrama de bloques de confiabilidad cuyo modelo para el caso se muestra en la Figura 2-1, u otro método gráfico.



Fuente: <http://rbd.iusiani.ulpgc.es/>

Figura 2-1 Diagrama de bloques de confiabilidad modelo de la línea de embalaje.

Para la obtención del resultado esperado, se comienza por la determinación de información a solicitar por los reportes del sistema, para lo cual se determina que estos valores de ingresos deben considerar datos referentes a identificación de encargado y equipo, además de tiempos de la acción realizada o evento.

Se contemplan estos datos en búsqueda de segmentar el desempeño por línea y área encargada, logrando llegar incluso al desempeño del equipo. Principalmente la variable de mayor impacto es la duración de la acción.

En una primera instancia y considerando la información contemplada a solicitar, se determinan los tiempos perdidos por equipo dada una falla o intervención preventiva esto en búsqueda de la obtención de indicadores iniciales y fundamentales como los son MTTR y MTBF, para lo cual el procedimiento contempla:

$$MTTR = \frac{\sum NOT_i}{n} \tag{2}$$

$$MTBF = \frac{OT - \sum NOT_i}{n} \tag{3}$$

Donde:

n : Cantidad de eventos contemplados en el periodo.

NOT_I : Tiempo fuera de operación de cada equipo.

OT : Tiempo contemplado en periodo evaluado.

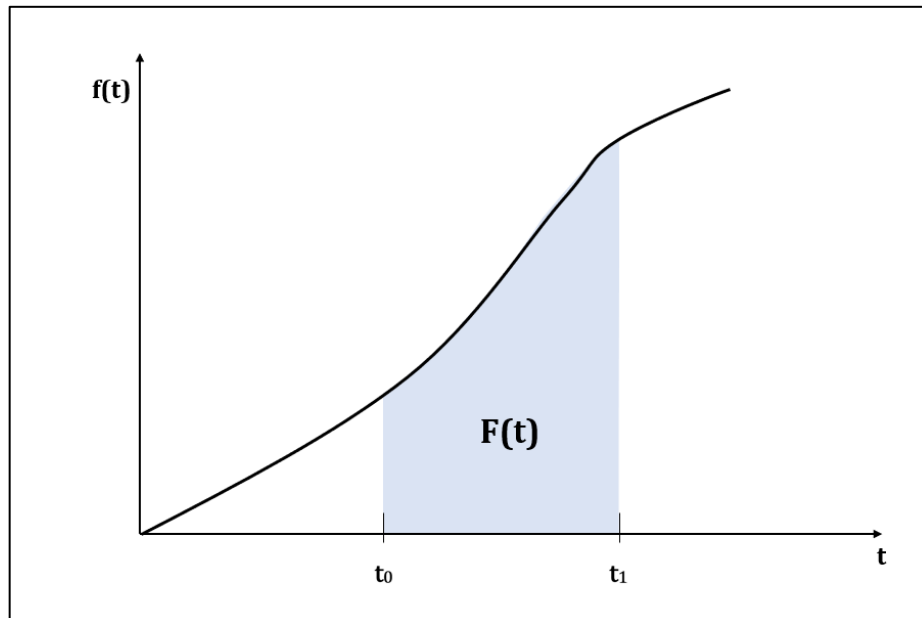
Posteriormente, de manera metódica, es posible determinar la disponibilidad real y esperada del equipo o área en cuestión mediante las expresiones:

$$Ai Esperada = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (4)$$

$$Ai Real = \frac{OT - NOT_I}{OT} \quad (5)$$

Es mediante esta ecuación que se puede determinar de manera porcentual el tiempo el cual el equipo estuvo disponible para el proceso productivo en la condición de seguridad y calidad estipulada. Se puede apreciar, bajo esta definición, que las conclusiones que se pueden desprender de esta medición son más bien globales, evidenciando la capacidad de producción considerando los eventos ya ocurridos a los que se ve expuesto el equipo. Para obtener una medición del comportamiento de estos eventos como tal, y poder anteponer acciones a su suceso, se recurre a herramientas probabilísticas mediante las cuales se modela la tasa de falla y confiabilidad respecto a una variable de tiempo. Cabe mencionar que lo expuesto anteriormente es uno de los requerimientos principales solicitados por el usuario, para el cual el control y medición de confiabilidad en el área es de alta importancia.

Como concepto preliminar, se debe comprender que la relación entre los valores de una variable aleatoria (x) y sus probabilidades respectivas son representables por una función de densidad de probabilidad " $f(x)$ ". Para el caso, se considera a la variable aleatoria como cualquier magnitud que represente el uso del equipo (generalmente tiempo), en el cual pueda suceder una falla, por lo que se puede representar como " $f(t)$ ". Por consiguiente, se determina que la función de densidad acumulada " $F(t)$ " es la probabilidad acumulada de falla del equipo en un periodo de tiempo estipulado desde " t_0 " hasta " t_1 ", como se muestra en la Figura 2-2, donde la probabilidad de que se produzca un evento de fallo en el intervalo $[t_0, t_1]$, es representado por el área bajo la curva destacado.



Fuente:Elaboración propia

Figura 2-2 Representación de función de densidad acumulada.

Mencionado esto, se puede afirmar que la función de densidad de falla acumulada se puede expresar como:

$$F(t) = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (6)$$

Por consiguiente, se define como confiabilidad $R(t)$, a la probabilidad de que el equipo o activo físico cumpla con la función establecida durante el periodo determinado y en el contexto de trabajo estipulado, por lo que se puede comprender como el complemento de la función de densidad de fallos acumulados, pudiendo ser expresado de la siguiente manera:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (7)$$

El comportamiento de la vida de un activo en respecto a los sucesos de falla pueden ser modelados, según la literatura, por diversas leyes de distribución las cuales describen de mejor forma según el tipo de componente en cuestión. Para este caso se opta por modelar el comportamiento mediante una distribución de probabilidad “Weibull”, modelo el cual es regularmente aplicado para el área de confiabilidad debido a su alta adaptabilidad a diversos modelos de vida, dado los valores que tomen sus constantes de escala y forma, “Alfa” (α) y “Beta” (β) respectivamente. La función densidad de falla (8), tasa de fallas (9) y confiabilidad (10), según esta ley, se expresan en este orden como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^\beta} \quad (8)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (9)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^\beta} \quad (10)$$

Donde:

“Gamma” (γ) : *Constante de localización en unidades de tiempo (donde comienza la distribución).*

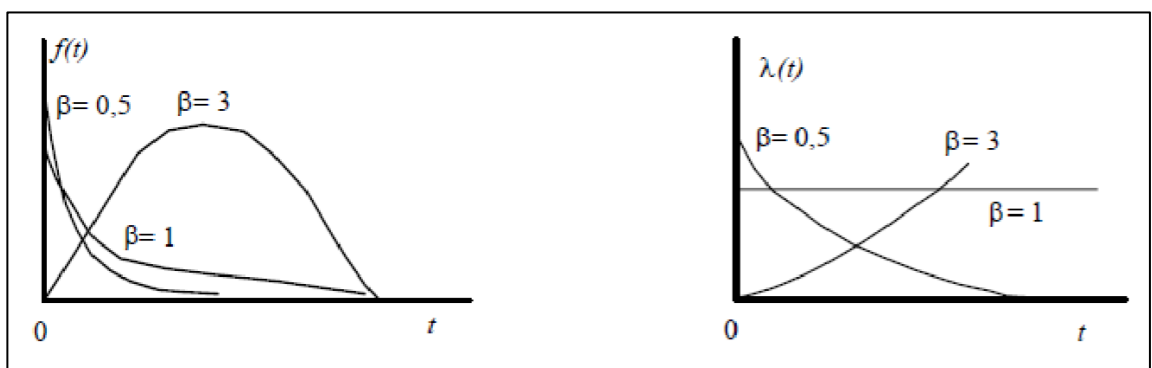
“Alfa” (α) : *Parámetro de escala.*

“Beta” (β) : *Parámetro de forma.*

La representación gráfica para el caso de falla acumulada y tasa de fallos es expuesta en la Figura 2-3, demostrando la variación del comportamiento según el valor del parámetro de forma “Beta” (β), donde en el caso de la tasa de fallas se aprecia que si:

- $\beta < 1$; la tasa de fallos es decreciente.
- $\beta = 1$; la tasa de fallos es constante.
- $\beta > 1$; la tasa de fallos es creciente.

Valores los cuales, en una combinación gráfica, conforman el patrón de falla conocido como “curva de la bañera”.



Fuente: R. Stegmaier, Ingeniería de plantas.

Figura 2-3 Representación según ley de distribución Weibull.

La metodología de la aplicación de esta ley de distribución considera como paso fundamental la determinación estimada de los parámetros “ α ” y “ β ”, para lo cual se contemplan los siguientes pasos:

- Obtener la función de falla acumulada $F(t_j)$ mediante la aplicación del método de rangos promedio (Aproximación de Bernard (11)):

$$F(t_j) = \frac{K_j - 0,3}{N + 0,4} \quad (11)$$

Donde:

K_j : *Número de eventos ocurridos al tiempo t_j .*

N : *Número total de eventos.*

- Calcular ranking de eventos de falla ajustados con datos censurados a la derecha. Este es requerido en caso de contemplar intervenciones preventivas de los equipos, de caso contrario se omite:

$$r_j = r_{j-1} + \frac{N + 1 - r_j}{N + 1 - (k_j - 1)} \quad (12)$$

Donde:

r_j : *Posición media de la falla j .*

r_{j-1} : *Posición media de la falla anterior.*

k_j : *Posición j en el ranking total de eventos.*

N : *Número total de eventos.*

- Representar de forma lineal (de manera análoga a la ecuación de la recta), la función de probabilidad de fallas acumuladas $F(t)$ considerando los dos parámetros “ α ” y “ β ”:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (13)$$

Ordenando la ecuación y aplicando logaritmo natural se obtiene:

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta$$

Aplicando logaritmo natural nuevamente y propiedades de este, finalmente se obtiene la ecuación de forma lineal:

$$\ln[-\ln(1 - F(t))] = \beta \ln(t) - \beta \ln(\alpha) \quad (14)$$

- La forma anterior se puede analizar de manera análoga a la ecuación de la recta como sigue:

$$y = m \cdot x + b$$

Donde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F(t))]$$

$$m \cdot x = \beta \ln(t)$$

$$b = -\beta \ln(\alpha)$$

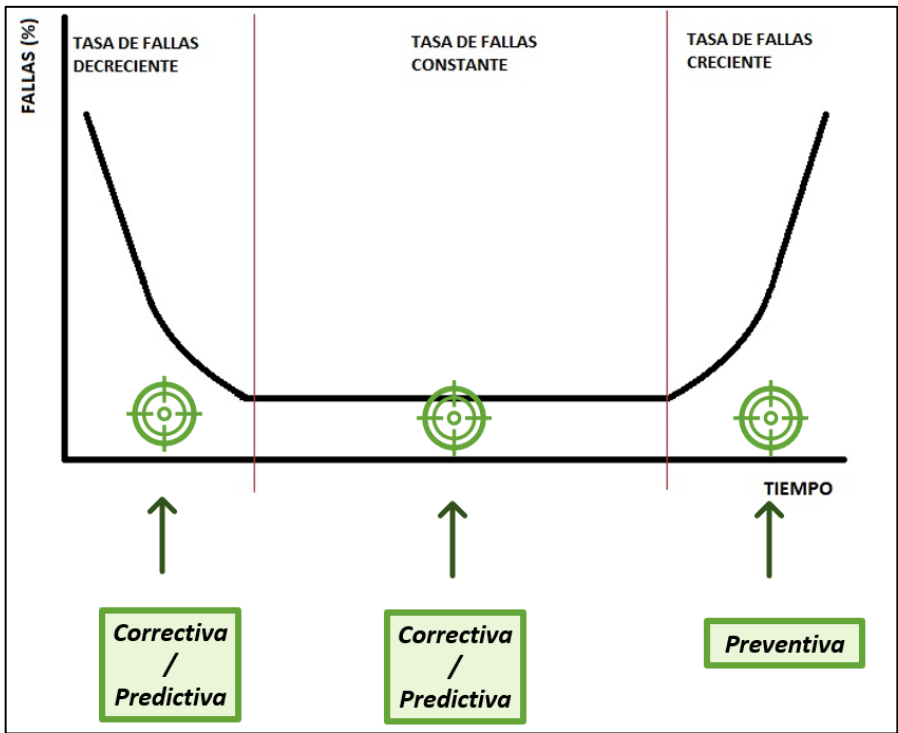
Considerando a “ln(t)”, como la variable independiente “x”, es que se obtienen los parámetros de forma “α” y “β” del despeje de la ecuación anterior:

$$m = \beta$$

$$\alpha = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)}$$

Mediante la aplicación de esta ley de distribución es que se consigue la obtención del comportamiento de la vida útil de los equipos, considerando la influencia de las condiciones de operación. Esto, en conjunto con información acerca de costos de mantenimiento por inspección, preventivos y de emergencia asociados a cada caso, conforman la base para poder llevar a cabo determinaciones de políticas de mantenimiento a emplear acorde al comportamiento de las variables y por otra parte según sea el caso, llevar a cabo la sustitución de equipos. Ambas acciones las cuales son respaldadas por información la cual es expuesta de manera gráfica facilitando su interpretación.

A modo de ejemplo de aplicación, se postula que para definir una política de mantenimiento se requiere del conocimiento de la tasa de falla y el costo global (suma de los costos de ineficiencia, directos e indirectos). Por lo que, para un caso en el cual la probabilidad acumulada de fallas es decreciente o constante como se muestra en la Figura 2-4 (siempre y cuando los costos por acción correctiva no sean favorables), se recomienda la aplicación de políticas predictivas. Por su parte para una etapa de desgaste del equipo en el cual la tasa de fallos se ve en aumento, se recomienda la aplicación de políticas preventivas o predictivas, esto siempre considerando la búsqueda de la optimización de costos y un costo global de mantenimiento menor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4 Sugerencia de aplicación de políticas de mantenimiento según evolución de tasa de fallos.

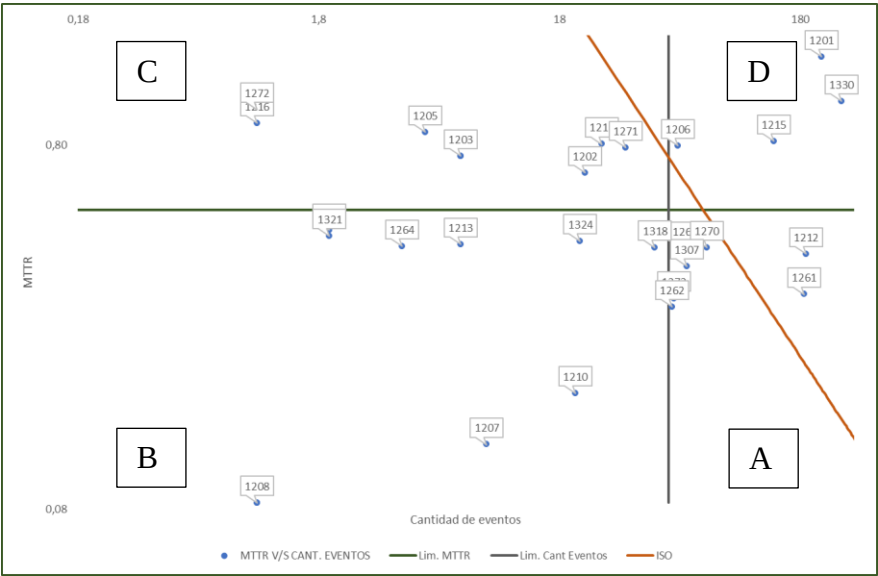
2.3. HERRAMIENTAS GRÁFICAS DE DECISIÓN Y ANÁLISIS

En miras de una mejor exposición de los datos obtenidos y buscando una interpretación de la información más rápida e intuitiva, se considera la integración de herramientas gráficas de decisión y monitoreo.

2.3.1. Diagrama de dispersión logarítmico “Jackknife”

El gráfico de dispersión logarítmico, también conocido en el área de mantenimiento como “Jackknife”, es una herramienta mediante la cual se obtiene la priorización de los equipos en función de sus fallas o eventos, diferenciando estos en 4 cuadrantes los cuales se limitan por el promedio de dos variables. En el eje “Y” se contempla la medición de MTTR de cada equipo y en el eje “X” la cantidad de fallos. Se contemplan 2 conceptos para diagnosticar el comportamiento de los activos, el primero hace referencia a la frecuencia con la que se presentan los eventos, denominando a estas fallas como “Crónicas” y como segundo parámetro se considera la “Agudez” de la falla, definida como el tiempo requerido para ser reparada en el cual el equipo está fuera de servicio. Producto de la intersección de estos dos conceptos medidos en el gráfico es que se obtienen las siguientes definiciones para los 4 cuadrantes mostrados en la Figura 2-5:

- Cuadrante “D”: Zona “Aguda-Crónica”, eventos frecuentes y críticos.
- Cuadrante “A”: Zona “Aguda”, eventos poco críticos pero frecuentes.
- Cuadrante “C”: Zona “Crónica”, eventos críticos.
- Cuadrante “B”: Zona “No crítica”.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5 Jackknife Equipos Línea 1.

Los ejes que limitan los cuadrantes son el promedio de MTTR y cantidad de fallos para los equipos contemplados calculados mediante las siguientes expresiones, respectivamente:

$$Límite\ MTTR = \frac{\sum MTTR_i}{n} \tag{15}$$

$$Límite\ Cant.\ Eventos = \frac{\sum n_e}{n} \tag{16}$$

Donde:

- n : Cantidad de equipos.
- MTTR_i : Tiempo medio de reparación para cada equipo.
- n_e : Cantidad de eventos reportados para cada equipo.

Se considera a su vez, la representación de líneas de indisponibilidad las cuales ayudan a diferenciar los equipos que son causantes de un mayor tiempo fuera de servicio referente

a un porcentaje establecido. La realización del diagrama es llevado a cabo de manera automática para cada línea basándose en la información otorgada por los reportes, logrando evidenciar los equipos que contemplan fallas recurrentes y en cuales las intervenciones llevan un procedimiento de mayor duración evidenciando oportunidades de mejora o prioridades de optimización de procedimientos según equipo.

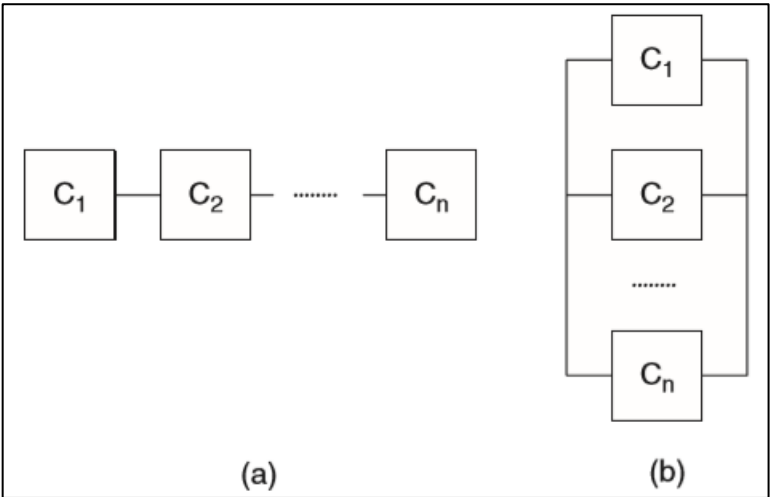
2.3.2. Diagrama de bloques de confiabilidad “RBD”

Definido de forma detallada en la norma IEC 61078, el “RBD” es un método intuitivo y de fácil comprensión, que expone cada componente de un sistema como una figura según posición en el proceso y destacando la relación lógica entre los mismos, mediante la cual se lleva a cabo el funcionamiento del conjunto. Es muy útil a la hora de requerir la demostración de la confiabilidad sectorizada por equipo, conglomerados o sistema completo.

Es recomendada por la norma ISO 12489:2016, cuando se requieren resultados cuantitativos, de un sistema que consta de componentes reparables los cuales pueden estar relacionados, como se muestra en la Figura 2-6, en una disposición de serie (a) y/o paralelo (b).

Para el caso de dispositivos en serie, se obtiene la confiabilidad en serie (R_s) de la relación de estos, mediante la ecuación (17):

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \tag{17}$$



Fuente: S. Distefano y A. Puliafito, System modeling with dynamic reliability block diagrams.

Figura 2-6 Ejemplo de sistemas relacionados en serie y paralelo.

Por contraparte, para el caso de dispositivos en paralelo, se obtiene la confiabilidad equivalente en paralelo de la relación de estos (R_p) mediante la ecuación (18):

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - R_i(t)\} \tag{18}$$

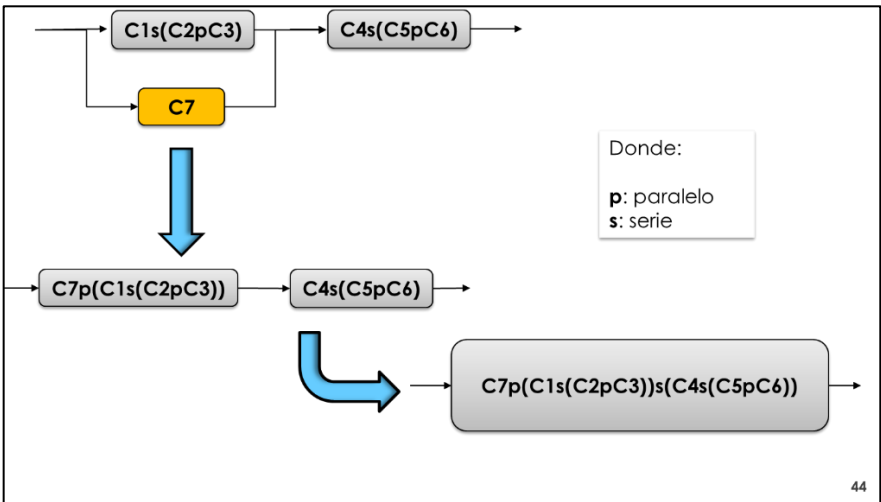
Para ambos casos se considera:

R_i : Confiabilidad individual de cada elemento que conforma el sistema.

Mediante este se obtiene finalmente un valor equivalente al conjunto combinado (en caso de ser un sistema mixto), el cual puede ser representado bajo la expresión:

$$R_m(t) = \left[1 - \prod_{i=1}^n \{1 - R_1(t)\} \right] \cdot \left[\prod_{i=1}^n R_i(t) \right] \tag{19}$$

De esta forma se logra unir los elementos, obteniendo sistemas de representación menos compleja, considerando la incidencia de confiabilidad de cada componente con objeto de facilitar la interpretación del valor de confiabilidad total del sistema, como se muestra en la Figura 2-7.



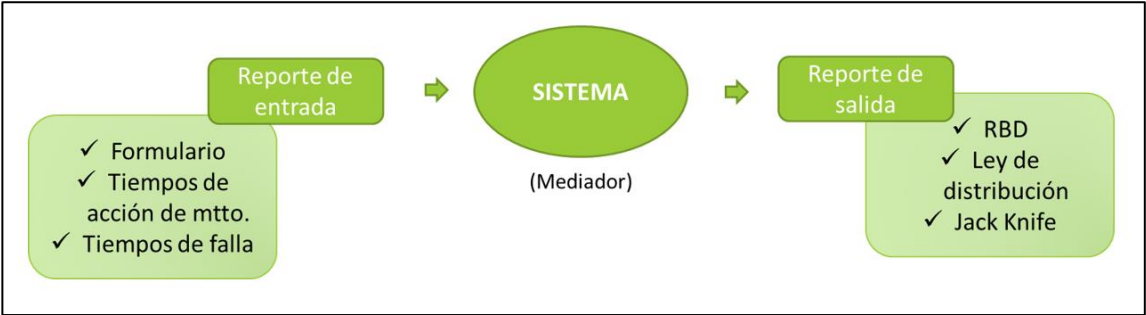
Fuente: A. Aránguiz, Conceptos básicos de gestión de mantenimiento

Figura 2-7 Sistemas mixtos.

CAPÍTULO 3 : PROPUESTA DE SISTEMA DE INFORMACIÓN Y BASE DE DATOS

3.1. ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y REPORTE

El proceso en el cual se ve inmersa la información consta de 3 etapas principales, siendo considerado primeramente un ingreso de datos, un sistema mediador y finalmente un reporte de salida, como se ilustra en la Figura 3-1. Se destaca la importancia de la función de un mediador de datos ya que de esta forma se optimiza la exposición e interiorización de los datos obtenidos debido a los eventos. Sustentando esto, David (2013) afirma. “Los datos se convierten en información sólo cuando han sido evaluados, filtrados, condensados, analizados y organizados para una finalidad, problema, individuo o tiempo específicos” (p.118).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Proceso de sistema de reportabilidad

La empresa actualmente posee un sistema de gestión de recursos por lo que es importante considerar una compatibilidad en el trabajo actual con el sistema usado en la organización. Como software ERP, actualmente se emplea SAP, del cual se desprende principalmente la nomenclatura de taxonomía de equipos y ubicaciones técnicas, a modo de facilitar la familiarización del manejo y referencia de los equipos involucrados.

3.1.1. Sistema de ingreso

Para la obtención del resultado esperado, se comienza por la conformación de una base de datos cuya estructura contempla la información solicitada por los reportes del sistema. Como se evidencia en las ecuaciones expuestas, la variable común y determinante es el tiempo de inicio y termino, tanto de los eventos, como de las acciones de mantenimiento, esto es requerido en conjunto con la identificación del equipo según TAG definido en el sistema ERP utilizado por la empresa buscando la compatibilidad de la

información y del encargado de la realización de la acción, por lo que se considera para los reportes el ingreso de los siguientes datos:

- **Línea:** *Mencionando la línea productiva en la cual se produjo el evento.*
- **Equipo:** *Determinando la identificación del equipo siendo compatible con la codificación empleada en la planta.*
- **Área encargada:** *Referente al departamento o área encargada de la acción.*
- **Clasificación de evento:** *Determinando si es una falla (tipo) o una intervención preventiva.*
- **Fecha de inicio y término.**
- **Hora de inicio y término.**

ID REP	Línea	Área	Equipo	Denominación	Área Encargada	Evento	Fecha inicio	Hora inicio	Fecha Termino	Hora Término
6048	L3_	nea_2 Euca	5230	Transportador 10	Mecánico		16-07-2018	0:00:00	16-07-2018	0:58:00
L1_		nea_2	5230	Transportador	Mecánico		10-07-2018	0:00:00	10-07-2018	0:07:00
L2_		nea_2	5231	Transportador	Electrocontrol		22-02-2018	0:00:00	22-02-2018	1:03:00
L3_		nea_2	5232	Transportador	Externo		20-01-2018	0:00:00	20-01-2018	0:17:00
6051	L3_	Línea_2	5233	Transportador	Operaciones		11-06-2018	0:00:00	11-06-2018	0:40:00
6052	L3_	Línea_2	5234	Prensa	Electrocontrol	Intervención	29-06-2018	0:00:00	29-06-2018	1:50:00
6053	L3_	Línea_2	5235	Prensa	Electrocontrol	F4				
			5236							
			5237							

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Estructura de ingreso de información

El reporte de entrada de ingreso de información se basa en formularios auto-completables con listas desplegables, como se muestra en la Figura 3-2, dada las solicitudes de la empresa de evitar la utilización de programación por macros. Las celdas grises se completan de manera automática, siendo solo las celdas amarillas las intervenidas por el usuario ingresando los datos entregados por cada lista desplegable según información estipulada de identificación, por su parte los datos de tiempo son ingresados de manera manual siendo restringidos a solo valores numéricos de tiempo. Mediante el ingreso de esta información se obtiene la base de datos mostrada en la Figura 3-3, en la cual se realiza automáticamente el cálculo de tiempo fuera de servicio del equipo dada la intervención realizada.

ID REP	Línea	Área	Equipo	Denominación	Área Encargada	Evento	Fecha inicio	Hora inicio	Fecha Termino	Hora Término	Tiempo detención
4027	L3	Línea_2_Euca	5305	Prensa	Mecánico	Intervención	30-07-2018	0:00:00	30-07-2018	0:08:00	0,13
4028	L3	Línea_2_Euca	5305	Prensa	Mecánico	F2	31-07-2018	0:00:00	31-07-2018	0:29:00	0,48
4029	L3	Línea_2_Euca	5305	Prensa	Externo	Intervención	31-07-2018	0:00:00	31-07-2018	0:12:00	0,20
4030	L3	Línea_2_Euca	5319	Marcadora	Externo	F3	27-02-2018	0:00:00	27-02-2018	0:05:00	0,08
4031	L3	Línea_2_Euca	5319	Marcadora	Electrocontrol	F2	10-04-2018	0:00:00	10-04-2018	0:38:00	0,63
4032	L3	Línea_2_Euca	5325	Amarradora 2	Operaciones	F3	08-05-2018	0:00:00	08-05-2018	15:00:00	15,00
4033	L3	Línea_2_Euca	5325	Amarradora 2	Mecánico	Intervención	08-05-2018	0:00:00	08-05-2018	1:00:00	1,00
4034	L3	Línea_2_Euca	5319	Marcadora	Electrocontrol	F4	28-04-2018	0:00:00	28-04-2018	2:45:00	2,75

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-3 Extracto de estructura de base de datos obtenida.

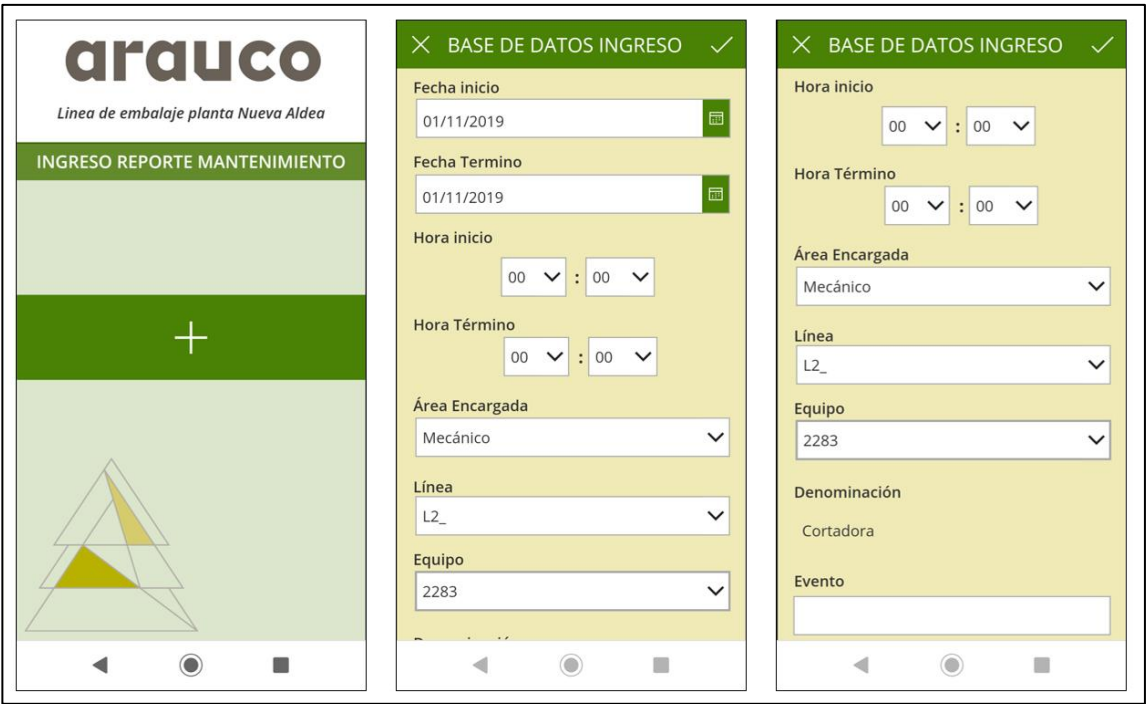
Para el caso del tipo de eventos se expone como propuesta una lista desplegable la cual busca ser personalizada mediante la implementación, reemplazando los valores actuales por fallas recurrentes o intervenciones planificadas asociadas a cada equipo.

3.1.1.1. Recopilación de información de fallas frecuentes vía aplicación móvil

De manera paralela al sistema de ingreso directo en el archivo Excel, se cuenta de una segunda plataforma de ingreso cuyo diseño apunta directamente al fortalecimiento del pilar de “acceso a la información”. Esta, trata de una aplicación móvil mediante la cual se lleva a cabo el relleno del formulario solicitado y estructurado anteriormente, a través de una interfaz diseñada por el sistema de Microsoft, “PowerApps”. Este software es una herramienta de creación de aplicaciones móviles, haciendo uso de un editor en versión de escritorio o web el cual se ve incluido en el paquete office 365. Las principales funciones que apuntan a realizar las aplicaciones estructuradas con esta plataforma son acciones de consulta o ingreso de información desde smartphones o tabletas a base de datos las cuales pueden ser de diversas plataformas ya sean online, como lo es una base de datos alojada en SharePoint o archivo Excel alojado en OneDrive, como en un servidor local. El fin de este sistema es recopilar información acerca de fallas, eventos e intervenciones frecuentes, las cuales sean evidenciadas por los usuarios, de esta manera se obtiene en una primera etapa, el filtrado de información y mayor oportunidad de personalización para resultar en datos estadísticos de fallas más recurrentes. Su utilización solo requiere de instalar la aplicación en cada teléfono a emplear, al ingresar un reporte este es guardado automáticamente en una lista de SharePoint permitiendo recibir información desde cualquier smartphone al cual previamente se le haya dado acceso a la aplicación. Esta lista puede ser exportada al archivo Excel diseñado u otro si se estima conveniente. Esta aplicación puede ser enlazada al sistema diseñado posterior a una evaluación de la información recopilada, siendo facilitada por la nomenclatura incluida en a las listas desplegables de esta, la cual es compatible con la empleada con el archivo Excel, pero

teniendo como ventaja a su vez la rapidez accesibilidad y simplicidad de uso de esta última cuando sea conveniente y necesario.

En la Figura 3-4, se puede apreciar la aplicación diseñada en secuencia de utilización de izquierda a derecha. En una primera pantalla de presentación, se tiene la referencia al área al cual compete el reporte y un botón de acceso el cual da paso a la segunda pantalla en donde se dispone del formulario el cual está basado, en cuanto a estructura y nomenclatura, en el sistema de ingreso primario realizado en Excel. En esta segunda pantalla se cuenta con campos de relleno los cuales otorgan los datos en listas desplegables siendo dependientes a la selección anterior para el caso del equipo. Al rellenar el formulario con los datos solicitados y una breve descripción del evento, se tiene acceso a un botón de guardado o de rechazo en caso de ser necesario en las esquinas superiores derecha e izquierda respectivamente.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-4 Capturas de pantalla de aplicación en secuencia de utilización de derecha a izquierda.

3.1.2. Sistema mediador

En la búsqueda de filtrar, seccionar y exponer la información obtenida de la base de datos, en esta etapa se realizan cálculos iniciales de indicadores de Disponibilidad MTTR y MTBF como se evidencia en la Figura 3-5, diferenciándolos por línea 1, 2 y 3, los cuales contemplan variables de tiempo y frecuencia de eventos por equipo, datos los cuales son filtrados mediante funciones condicionales de búsqueda en la base de datos.

Área Encargada	Fecha Inicio	Fecha Término	Cant. Horas del periodo				
Todas	01-01-2018	21-09-2018	6.312				
TAG	ID	Descripción	Cant. Eventos	T. Perdidos	MTTR	MTBF	Disponibilidad esperada (Ai)
581-26-2283	2283	Cortadora	79	22,70	0,29	79,90	99,642%
581-26-2240	2240	Transportador 1	207	185,17	0,89	30,49	97,150%
581-26-2241	2241	Transportador 2	63	89,92	1,43	100,19	98,595%
581-26-2242	2242	Transportador 3	4	0,95	0,24	1578,00	99,985%
581-26-2243	2243	Transportador 4	16	8,72	0,54	394,50	99,862%

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5 Cálculo de indicadores preliminares por línea.

Mediante este procedimiento, se obtiene la disponibilidad esperada y real de cada equipo el cual forma parte de cada línea, pudiendo filtrar la información por área encargada y periodo de tiempo estipulado en celdas superiores mediante listas desplegables, además de los datos de cantidad de eventos y MTTR, se obtienen los valores para llevar a cabo la confección del diagrama de dispersión Jackknife para cada línea.

Posteriormente, de manera paralela, se procede a calcular la tasa de fallos de los equipos y confiabilidad, cuya tabla de cálculos se muestra en la Figura 3-6, esto mediante la utilización de tablas dinámicas las que se encargan de filtrar por área encargada y equipo los datos requeridos de reporte, evento, y periodo de tiempo determinado en cada ingreso, de donde se extrae la variable principal del tiempo de la operación o acción de mantenimiento.

Área Encargada	(Todas)	Factores de forma de Distribución Weibull		α	β	γ	MTBF (Hrs)
Equipo	1207			25,462	5,684	0	23,5502
ID REP	Evento	Fecha inicio	Hora inicio	Fecha Termino	Hora Término	Tiempo operativo	Filtro de Tiempo
1477	F1	23-02-2018	0:00:00	23-02-2018	0:15:00	0,00	47,883
2735	F1	24-04-2018	0:00:00	24-04-2018	0:03:00	1439,75	95,917
3455	F4	02-05-2018	0:00:00	02-05-2018	0:06:00	191,95	143,833
4429	Intervención	26-06-2018	0:00:00	26-06-2018	0:06:00	1319,90	191,950

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6 Fragmento tabla de cálculo de Ley de distribución Weibull

El siguiente cálculo es llevado a cabo mediante la metodología expuesta en el segundo capítulo, en donde se enfatiza a la búsqueda de los parámetros de forma mediante una interpretación lineal de la función densidad, esto se lleva cabo mediante la utilización de 3 tablas dinámicas para los 4 pasos como se muestra en el detalle de la tabla expuesto en la Figura 3-7. Primeramente, se ordenan los tiempos de cada acción obtenidos de los reportes en la columna “Filtro de tiempo”, posteriormente se determina el número de

ranking de falla, función de densidad de falla mediante, para en una segunda tabla dinámica (columna “R(t)”), ordenar el cálculo de confiabilidad de manera decreciente filtrando posibles datos por errores de ingreso en valores de tiempo y por motivos gráficos, para posteriormente dar paso a una tercera tabla dinámica en la cual se reordenan los valores de la función linealizada obteniendo los valores de parámetros, columnas “x” e “y” valores los cuales dan forma gráfica a la ecuación linealizada de la funciones buscadas.

v	MTBF (Hrs)	TABLERO						
0	23,5502							
Tiempo operativo	Filtro de Tiempo	Kj	ri de Falla	rj Falla	F (tj) Real	R(t)	"x"	"y"
0,00	11,750	1	1	1,00	0,0216	97,84%	2,463853241	-3,823932373
-1,42	15,667	2	-	-	-	94,75%	2,751535313	-2,920607312
-0,42	16,000	3	2	2,00	0,0525	91,67%	2,772588722	-2,44165492
-0,30	20,417	4	3	3,00	0,0833	88,58%	3,016351561	-2,109761898
-1,42	21,800	5	4	4,00	0,1142	85,49%	3,08190997	-1,853219551
23,00	22,000	6	5	5,00	0,1451	82,41%	3,091042453	-1,642473576
-0,83	22,200	7	6	6,00	0,1759	79,32%	3,100092289	-1,462399011
-0,75	22,450	8	-	-	-	76,23%	3,111290614	-1,3042555

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7 Fragmento tabla de cálculo de Ley de distribución Weibull

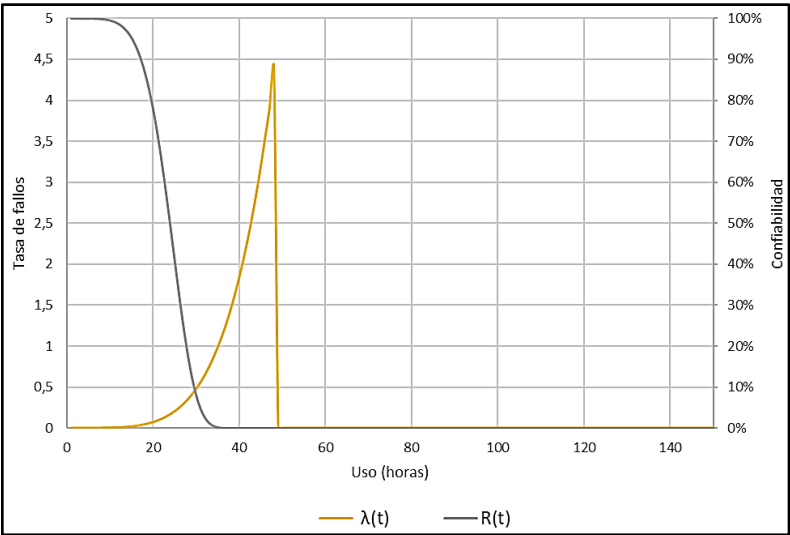
Mediante los valores de las columnas de “x” e “y”, se obtienen parámetros de forma de distribución a través de fórmula para obtener la intersección del eje de la función lineal generada para el parámetro “Alfa” y pendiente de la función para el parámetro “Beta”, además de valor de MTBF en horas, dando opción de personalizar el parámetro de localización “Gamma”. Finalmente, mediante la función de distribución Weibull disponible en Excel y haciendo uso de los parámetros obtenidos según el filtro, se tabula en función al periodo de uso del equipo datos de función densidad de falla, de los cuales tras cálculo se obtiene confiabilidad y tasa de fallos, como se expone en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Tabulación de datos distribución Weibull.

Periodo uso (Hrs)	f(t)	F(t)	R(t)	λ(t)
1,0	5,80893E-08	1,02205E-08	100,000%	5,80893E-08
2,0	1,4928E-06	5,253E-07	100,000%	1,4928E-06
3,0	9,97102E-06	5,26306E-06	99,999%	9,97107E-06
4,0	3,83613E-05	2,69983E-05	99,997%	3,83623E-05
5,0	0,000109082	9,59663E-05	99,990%	0,000109092
6,0	0,00025617	0,000270468	99,973%	0,00025624
7,0	0,000527128	0,000649429	99,935%	0,000527471
8,0	0,00098448	0,001386675	99,861%	0,000985847

Fuente: Elaboración Propia.

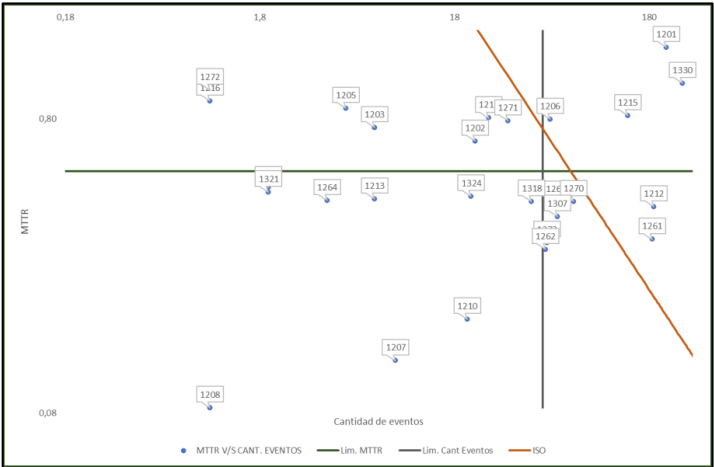
Inmediatamente, los datos expuestos son graficados, dando al usuario acceso a una mejor interpretación del comportamiento de la tasa de fallos y confiabilidad del equipo o conglomerado seleccionado y para el periodo determinado, como se muestra en la Figura 3-8.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-8 Gráfico de distribución Weibull modelo.

Por su parte y para cada línea, se dispone de un gráfico de dispersión logarítmico en el cual se expone la jerarquización de los equipos que lo conforman de manera inmediata como se muestra en la Figura 3-9.



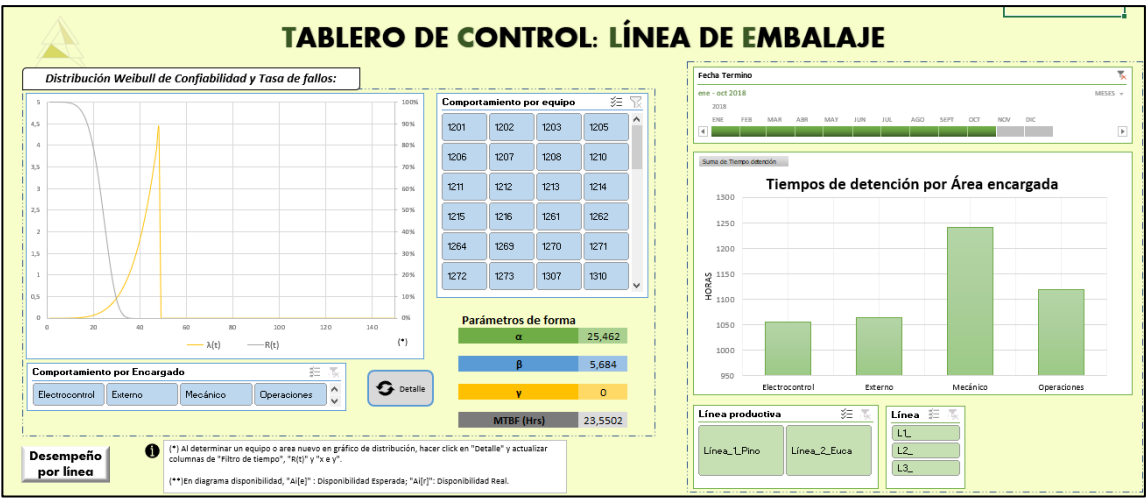
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9 Diagrama Jack knife.

3.1.3. Sistema de reporte de egreso

Considerando una exposición de la información más llamativa y resumida, que exponga de manera dinámica los cálculos demostrados con anterioridad, se entrega una interfaz de salida con forma de tablero de control o también conocido como “dashboard”, el cual expone los indicadores del área de dos formas, de manera general y detallada por equipo en dos pantallas.

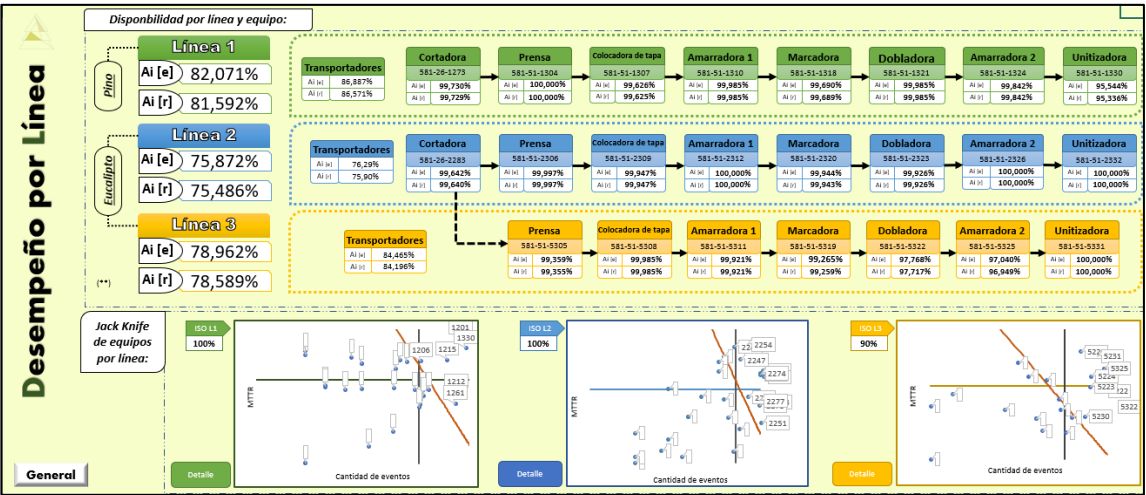
En una primera pantalla, Figura 3-10, se aprecia de manera gráfica la distribución de Weibull de tasa de fallos y confiabilidad, la cual puede ser especificada para cada área o equipo mediante la segmentación de datos manejada por botones, a su vez se exponen los parámetros de alfa beta gamma y MTBF los cuales son requeridos de manera numérica para analizar casos de toma de decisión. Por otra parte, se exponen los tiempos de detención de los cuales se hace cargo cada área de manera general, permitiendo ajustar el periodo de tiempo evaluado y las líneas involucradas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10 Tablero de control primera pantalla.

Para una segunda pantalla, como complemento y basándose en la estructura de cálculo de un RBD, se considera la exposición de un diagrama de bloques en los cuales se muestra la disponibilidad de los equipos de las 3 líneas, en donde se expone, a su vez, la disponibilidad total de cada línea, datos los que están enlazados con las tablas de cálculo de disponibilidad real y esperada expuestas anteriormente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11 Tablero de control segunda pantalla.

Se considera a los transportadores como un conglomerado cuya representación física no es la expuesta, permitiendo así obtener una visión a nivel general y menos sobrecargada de su desempeño para el periodo evaluado en cada tabla principal de cada línea. Se puede tener acceso a indicadores de disponibilidad y confiabilidad de manera individual para cada uno de los transportadores mediante el botón “Detalle” incluido para cada línea diferenciados estos por el TAG designado en el sistema ERP. Finalmente se puede apreciar en la Figura 3-11, la presentación de 3 diagramas de dispersión Jackknife que corresponden uno a cada línea de las dos áreas de pino y eucalipto, estos en escala logarítmica y destacando los equipos los cuales son los causantes de un mayor tiempo perdido al promedio o porcentaje de este ajustado por el usuario.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se interioriza el contexto de la empresa Arauco S.A, destacando su participación en el mercado e indicando el contexto geográfico en donde se desarrolla el proceso productivo; este último es explicado de manera general interiorizando y exponiendo el sector de enfoque del trabajo: área de máquinas, lugar en el cual se desarrollan las actividades finales del proceso de producción de pulpa de celulosa.

Se logra llevar a cabo el desarrollo de las bases de la auditoría destacando la congruencia con normas de gestión y determinando a su vez, las preguntas mediante las cuales se censa la manera en la que el sistema actual es visto por los usuarios. Es mediante esto que se censan cuatro pilares principales de manera porcentual, destacando que ninguno supera un índice de conformidad satisfactorio y siendo el más débil el índice de “Confianza de datos”.

Considerando una compatibilidad de la propuesta actual con el sistema ERP usado actualmente en la organización, atendiendo a recomendaciones de participantes del área y considerando los requerimientos de usuario según nivel estratégico, se determinan herramientas de cálculo de indicadores de desempeño y métodos de cálculo, destacando requerimientos del usuario por tener acceso de manera eficiente a indicadores como confiabilidad y disponibilidad de los equipos en cuestión.

Se propone un sistema de información, en el cual los datos pasan por un proceso de 3 etapas, para finalmente ser consolidada la información. Considerando las variables y parámetros requeridos para el cálculo de los indicadores solicitados por el usuario, se propone una base de datos cuya estructura se basa en los datos requeridos para la obtención de indicadores que reflejan tanto el desempeño de las máquinas del área como también las acciones de mantenimiento. Por consiguiente, los reportes de ingreso requeridos se formulan considerando un ingreso de información eficiente de los datos requeridos por los indicadores, siendo la variable clave el tiempo. Finalmente, por su parte, en el reporte de egreso se determina un sistema de exposición de indicadores gráfico y dinámico mediante el cual se tiene acceso a la información necesaria por parte del usuario, para sustentar la toma de decisiones como lo es la determinación de políticas de mantenimiento.

El beneficio en contraste del costo de la implementación del sistema es mayor, considerando la disponibilidad de los recursos para la implementación del sistema y los cargos encargados para mantener, utilizar y verificar un buen funcionamiento de éste, que ya están considerados dentro de la organización. Teniendo esto en cuenta, es que se puede afirmar que, el beneficio se basa en una gran medida en una reorganización de los procedimientos de gestión de información y conductas contempladas en las acciones de mantenimiento.

Como recomendaciones, se considera evaluar la implementación de este sistema bajo los cuatro pilares de la auditoria tras un periodo de utilización, y realizar un consenso de fallas e intervenciones de mantenimiento más recurrentes las cuales deben enlazarse a cada equipo, proliferando un sistema el cual logre tener un alcance de detalle de información más preciso, siendo ejemplo de esto la exposición del desempeño de las acciones por modo de falla recurrentes de cada equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANUARIO forestal 2018: Chilean statistical yearbook of forestry. Santiago, Chile: Instituto Forestal (INFOR), 2018. 198 p.
- [2] ARAUCO. Sostenibilidad. [en línea] <<https://www.arauco.cl/chile/sostenibilidad/>> [consulta: 03 junio 2019].
- [3] International Electrotechnical Commission (IEC). 61078 Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram and Boolean methods. Suiza: 2006. 82 p.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). 55001 Asset management - Management systems – Requirements. Suiza: 2014. 43 p.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). 12489:2016 Reliability modelling and calculation of safety systems. United Kingdom: 2016. 82 p.
- [6] KRISTJANPOLLER R., Fredy. Ingeniería en Confiabilidad II: Estrategias de mantenimiento [diapositiva]. Santiago, Chile: Departamento de industrias. 2019. 77 diapositivas, col.
- [7] MEMORIA anual. Santiago, Chile: CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A; 2016. 276 p.
- [8] MEMORIA anual. Santiago, Chile: CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A; 2017. 270 p.
- [9] MEMORIA anual. Santiago, Chile: CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A; 2018. 304 p.
- [10] MENDOZA F: Gabriel P. Evaluación de modificaciones de una máquina de secado de celulosa. Memoria (Ingeniero de Ejecución en Química Mención Control) Talcahuano, Chile: UTFSM. Sede Talcahuano, 2001. 68 h.
- [11] PISTARELLI, Alejandro. Manual de mantenimiento. Ingeniería, gestión y organización. Buenos Aires. Buenos Aires. 2012. 693 p. ISBN 978-987-05-8420-9.
- [12] RENOVETEC. Auditorías de mantenimiento. Madrid: Renovetec, 2009. 34 p.
- [13] STEGMAIER, Raul. Ajuste de parámetros distribución Weibull [diapositiva]. Valparaíso, Chile: Departamento de industrias. [s. a.]. 13 diapositivas, col.
- [14] DISTEFANO, S. y PULIAFITO, A. System modeling with dynamic reliability block diagrams. Messina, Italy: University of Messina Engineering Faculty. 2006. 10 h.

ANEXO A: DOCUMENTACIÓN RECOMENDADA A PREPARAR PARA REALIZAR UNA AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO

1. Mano de obra:
 - a. Organigrama, categoría y funciones del personal.
 - b. Cualificación del personal directo.
 - c. Plan de formación.
 - d. Estadística de absentismo.

2. Medios Técnicos:
 - a. Inventario de herramientas.

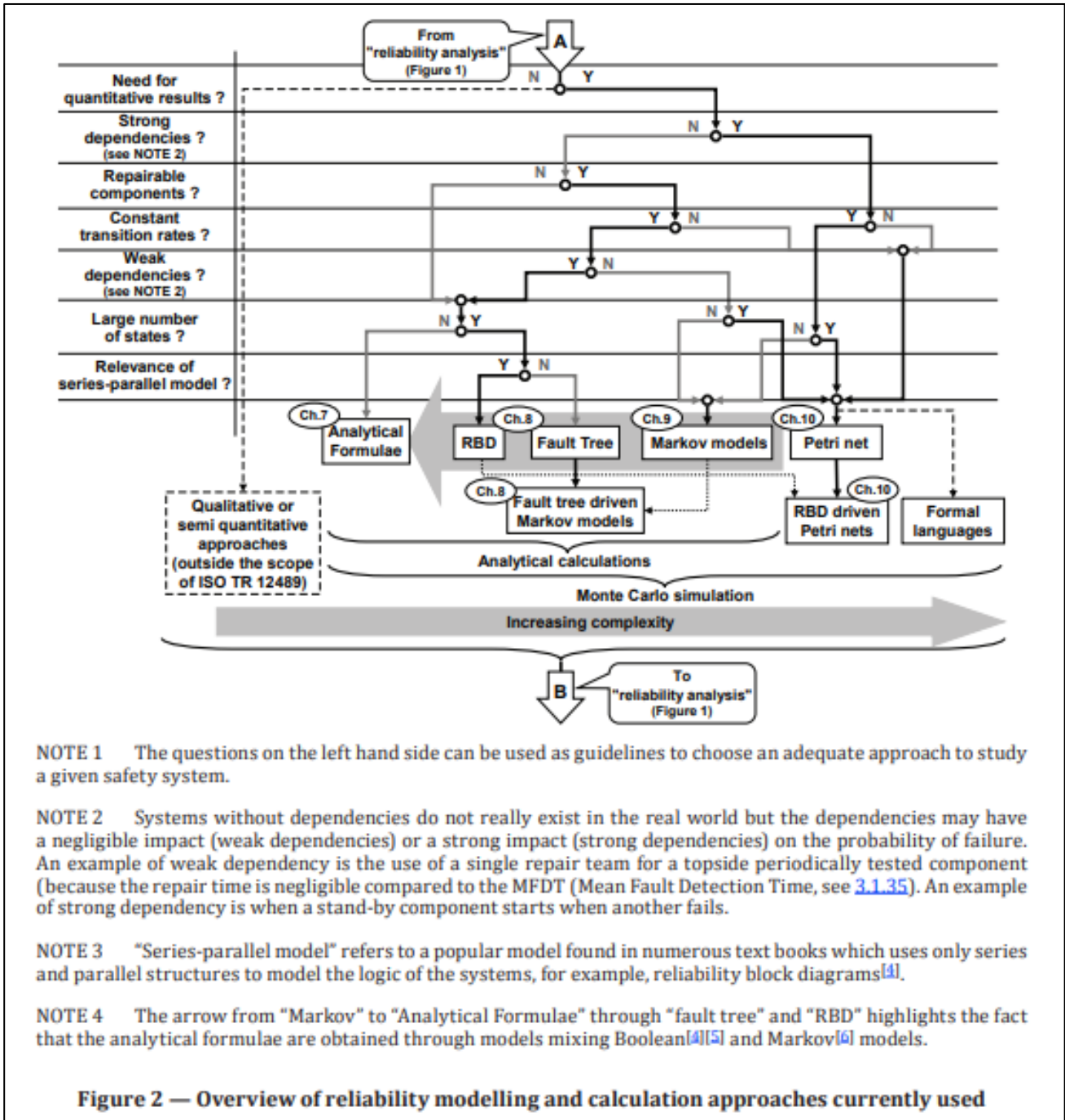
3. Métodos de trabajo:
 - a. Lista de equipos que componen la planta o área auditada.
 - b. Plan de mantenimiento de los equipos significativos.
 - c. Gamas de mantenimiento realizadas (planillas) en un periodo determinado.
 - d. Lista de Equipos Críticos de la planta.
 - e. Procedimientos de trabajos habituales.
 - f. Informes mensuales de mantenimiento.
 - g. Listas de averías típicas (síntomas, causa y solución).
 - h. Lista de repuesto que hay en planta, y stock mínimo que se considera necesario.
 - i. Propuestas de mejora realizadas por mantenimiento.

4. Materiales y subcontratos:
 - a. Lista de respuesta mínimo que se considera necesario tener en stock.
 - b. Inventario de materiales en almacenes.
 - c. Lista de materiales consumidos en un periodo determinado, valorados.

5. Resultados Obtenidos:
 - a. Disponibilidad de planta.
 - b. Indicadores que se dispongan.
 - c. Coste Global de mantenimiento.

(*) Fuente: Renovetec.

ANEXO B: DIAGRAMA GENERAL DE MODELOS DE CÁLCULO DE CONFIABILIDAD UTILIZADOS SEGÚN REQUERIMIENTOS COMUNES.



(*) Fuente: Norma ISO/TR 12489:2013 (E)