

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PROPUESTA DE ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PARA SISTEMA DE INYECCIÓN DE RESINA PROJET EN PLANTA TABLEROS
MDF, CABRERO, REGIÓN DEL BÍO-BÍO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero Ejecución Mecánico de Procesos y
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Alexander Benjamín Riquelme Jara

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz

2024

***Dedicatoria:** Mi especial dedicatoria y gratitud a mi núcleo familiar cercano, madre y hermana, en especial destaco a mi madre, que fue un apoyo incondicional y trascendental en todo ámbito de mi etapa universitaria, en donde fue un pilar fundamental para que me desarrollara lo más favorablemente posible en todo este proceso formativo.*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme la oportunidad de llevar a cabo este proceso formativo.

De igual forma agradezco a mi querida institución universitaria, todo el personal que allí permite desenvolvernó. Destaco y agradezco a los diversos docentes que tuve a lo largo de la carrera que me fueron enseñando, guiando y nutriendo, siendo imprescindibles en mi formación profesional y personal a lo largo de este tiempo en la universidad.

También un especial agradecimiento a personal mecánico de planta Tableros MDF, Cabrero, Región del Bío-Bío y a mi jefe de empresa contratista que me apoyaron facilitando material de apoyo (planos, gráficos, estadísticas, datos, imágenes etc.) resolviendo mis requerimientos técnicos y entregando información relevante para llevar a cabo mi memoria.

En fin, expreso mi más sincera gratitud a todos quienes fueron parte de este proceso formativo partiendo por mi familia.

RESUMEN

Esta memoria consta en una elaboración de una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para sistema de inyección de resina denominado por la firma Dieffenbacher como PROJET en planta Tableros MDF, Cabrero, Región del Bío-Bío.

Para la elección de este tema y desarrollar esta memoria, se participó en diversas mantenciones a lo largo de un periodo considerable, cercano a 1 año aproximadamente, en la línea de desfibrado MDF (Medium Density Fiber Board). En donde se visualizó y detectó que en el sistema PROJET se originaban diversas detenciones no programadas, independientes de las mantenciones ya programadas por planificadores del área, lo que genera un evidente perjuicio productivo y económico.

Posterior a ello se realizó una inspección y el respectivo levantamiento de información con mecánicos de planta de línea MDF (Medium Density Fiber Board) a comienzos del segundo trimestre del actual año, esto para ahondar en el tema buscando posibles causas de fallas y eventuales mejoras.

A lo largo de esta memoria se revelarán y vertieran los antecedentes recopilados, evidencia fotográfica, planos, información técnica, reseñas de mecánicos de planta entre otros. Todo esto aportará para poder explicar el funcionamiento del sistema, descripción de sus componentes y condiciones actuales del mismo.

Se concluirá esta memoria generando y elaborando una propuesta argumentada de plan de mantenimiento preventivo acorde a las condiciones de funcionamiento, detallando el real impacto a través de las ventajas o desventajas ante una eventual implementación del proyecto contenido en esta memoria. Con todo esto se busca evitar las detenciones no programadas y realizar detenciones e intervenciones lo más eficientes posible con énfasis en confiabilidad, a fin de evitar y reducir lo máximo posibles perjuicios económicos a la empresa.

ÍNDICE

RESUMEN..... 5

INTRODUCCIÓN 13

OBJETIVOS 15

 Objetivo General 15

 Objetivos Específicos..... 15

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO..... 16

 RESEÑA DETALLADA DE PROCESO PRODUCTIVO PLANTA TABLEROS MDF 18

 DESCRIPCIÓN DE PRINCIPALES PROCESOS PRODUCTIVOS Y COMPONENTES DE PLANTA TABLEROS MDF 22

 RECEPCIÓN Y MANEJO DE ASTILLAS (MATERIAS PRIMAS MDF) 22

 LAVADO DE ASTILLAS 27

 PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (PLANTA TÉRMICA) 31

 PROCESO DE DESFIBRADO 36

 INYECCIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS A FIBRA (ESTACIÓN PROJET) 42

 SECADO DE FIBRA MDF 55

 LÍNEA DE FORMACIÓN DE MANTO DE TABLEROS MDF 56

 PROCESO DE PRENSADO DE MANTO FORMADO MDF 57

 PROCESO DE SALIDA DE PRENSA MDF 58

 LÍNEA DE TERMINACIÓN MDF 59

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 67

 ANTECEDENTES DEL PROYECTO 69

 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 71

 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... 72

 BENEFICIOS DEL PROYECTO 73

CAPÍTULO III: DELINEACIÓN DISEÑO DE SOLUCIÓN..... 75

 GENERALIDADES Y CONTEXTO..... 77

 MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD..... 78

 Riesgo..... 78

 Análisis de criticidad..... 78

 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN UTILIZADOS 79

 Frecuencia de falla 79

 Impacto operacional 80

 Flexibilidad operacional..... 80

 Costo de mantenimiento..... 81

 Impacto ambiental o de seguridad..... 81

 TABLA O CUADRO DE JERARQUIZACIÓN..... 82

 MATRIZ DE CRITICIDAD..... 83

 TABLA O CUADRO DE MATRIZ DE CRITICIDAD..... 84

 ANÁLISIS DE FALLA Y EFECTO 85

 Inyector de resina 86

Sistema de dosificación de resina IMAL 87

Sistema de control y fuerza (PLC) 89

Bomba centrífuga principal 90

Actuador neumático con válvula de bola tres vías tipo L 92

Flexibles de vapor y agua/resina 93

Actuador Elero 94

Flujómetro Electromagnético (sensor de flujo)..... 96

TABLAS DE ACCIÓN DE MANTENIMIENTO 98

DIAGRAMA ISHIKAWA (CAUSA Y EFECTO) 99

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA..... 100

 CONTEXTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A SISTEMA PROJET 102

 CIFRAS ECONÓMICAS ASOCIADAS A PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE
 SISTEMA PROJET 103

 Tabla de acción de mantenimiento y horas de trabajo asociadas en sistema PROJET..... 103

 Tabla de repuestos e insumos necesarios para sistema PROJET 105

 Tabla de costos asociados a prestación de servicios de empresa contratista 106

 Tabla de costos totales para empresa Tableros MDF, Cabrero, región del Bio-Bio 107

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES 108

ANEXOS.....110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso Productivo Planta Tableros MDF	21
Figura 2. Diagrama de Bloques de Proceso Productivo Planta Tableros MDF	21
Figura 3. Proceso Tratamiento Materias Primas.....	22
Figura 4. Descortezador tipo Tambor Rotatorio, GENTLEBARKING	23
Figura 5. Descortezador tipo Tambor Rotatorio, GENTLEBARKING	23
Figura 6. Astillador Vertical CAMURA	24
Figura 7. Astillador Horizontal CAMURA	24
Figura 8. Tolva para descarga de astillas de camiones hacia silo	25
Figura 9. Harnero Clasificador de Astillas	26
Figura 10. Desechos Metálicos captados en cinta de transporte	26
Figura 11. Proceso de lavado de astillas.....	28
Figura 12. Separador e impulsor de astillas	28
Figura 13. Tornillo Drenador	29
Figura 14. Estanque Acumulador y de Recirculación	30
Figura 15. Hidrociclón	30
Figura 16. Planta de Generación de Energía (Planta Térmica)	32
Figura 17. Parrillas Transportadoras de material combustible	33
Figura 18. Proceso de Combustión en Hogar	33
Figura 19. Inyector de Aporte Polvo de lijado a hogar	34
Figura 20. Chute para eliminación de escorias y cenizas.....	34
Figura 21. Secado de Fibra con gases calientes	35
Figura 22. Cámara GEKA, transferencia de calor Gases Calientes - Aceite Térmico	36
Figura 23. Diagrama de Flujo de Aceite Térmico en Planta Tableros MDF	36
Figura 24. Proceso de Desfibrado	37
Figura 25. Vaporizador.....	38
Figura 26. Tornillo alimentador ADI.....	38
Figura 27. Precalentador.....	39
Figura 28. Precalentador.....	39
Figura 29. Desfibrador Mecánico	40
Figura 30. Desfibrador Mecánico	40
Figura 31. Disposición de Segmentos (discos de desfibrado)	41
Figura 32. Descripción de segmentos (discos).....	41
Figura 33. Sistema de inyección de resina PROJET	43
Figura 34. Plano de disposición de sistema de inyección de resina PROJET	43
Figura 35. Modelación de sistema de inyección de resina PROJET.....	43
Figura 36. Usos de resina UF (urea-formaldehído)	45
Figura 37. Bomba dosificadora de tornillo excéntrico	46
Figura 38. Sistema de mezcla de aditivos (cocina)	46
Figura 39. Sistema de dosificación de resina IMAL	47
Figura 40. Plano en corte de inyector de resina.....	48
Figura 41. Inyector de resina.....	48
Figura 42. Actuador Elero	49
Figura 43. Flujómetro	50
Figura 44. Panel de control de Flujómetro	50
Figura 45. Actuador neumático EA.....	51
Figura 46. Válvula de bola de 3 vías tipo L.....	51
Figura 47. Controlador Lógico Programable	52
Figura 48. Bomba centrífuga.....	53
Figura 49. Flexible metálico semirrígido de vapor	54
Figura 50. Flexible metálico semirrígido de agua/resina UF.....	54
Figura 51. Proceso de secado de fibra de madera.....	55
Figura 52. Proceso de formación de manto	57

Figura 53. Manto en formación 57

Figura 54. Prensa continua doble banda Kusters 58

Figura 55. Proceso de corte con sierras volantes 59

Figura 56. Rueda enfriadora.....60

Figura 57. Apiladores de tableros 61

Figura 58. Lijadora de tableros.....63

Figura 59. Lijadora de doble banda con acción por patines automáticos 63

Figura 60. Paquete lijado en apilador 63

Figura 61. Unidad formateadora de tableros.....64

Figura 62. Mesa de corte longitudinal de formateadora 65

Figura 63. Paquete MDF para embalar 66

Figura 64. Paquete MDF listo para despacho 66

Figura 65. Sistema de inyeccion previo a sistema PROJET 70

Figura 66. Diagrama Ishikawa o espina de pescado de Anormalidades 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables y valores de Planta de Generación de Energía MDF 32

Tabla 2. Principales cualidades de Resina (UF) Urea-Formaldehído 44

Tabla 3. Principales propiedades físicas-mecánicas de resina (UF) Urea-Formaldehído 45

Tabla 4. Factor frecuencia de falla 79

Tabla 5. Factor impacto operacional 80

Tabla 6. Factor flexibilidad operacional 80

Tabla 7. Factor costo de mantenimiento 81

Tabla 8. Factor impacto ambiental o de seguridad 81

Tabla 9. Cuadro de Jerarquización 82

Tabla 10. Matriz de criticidad 84

Tabla 11. Rangos de Criticidad 84

Tabla 12. Análisis de fallas de inyector de resina 87

Tabla 13. Análisis de fallas de sistema de dosificación Imal 88

Tabla 14. Análisis de fallas de PLC 90

Tabla 15. Análisis de fallas de bomba centrifuga principal 91

Tabla 16. Análisis de fallas de actuador neumático con válvula de 3 vías 93

Tabla 17. Análisis de fallas de flexibles de vapor y agua 94

Tabla 18. Análisis de fallas actuador elero 96

Tabla 19. Análisis de fallas de flujómetro 97

Tabla 20. Monitoreo y apoyo para mantenimiento PROJET 98

Tabla 21. Estimación de horas hombre de trabajo en mantención PROJET 104

Tabla 22. Costos asociados a adquisición de repuestos trimestralmente 105

Tabla 23. Costos asociados a prestación de servicios externos para mantención PROJET 106

Tabla 24. Costo total anual por mantención a sistema PROJET 107

ÍNDICE DE ANEXOS

Ilustración 1. Pantalla de control de proceso PROJET 110

Ilustración 2. Plano de disposición de sistema PROJET en línea de secado..... 110

Ilustración 3. Plano sector de línea de secado donde están inyectores de resina 111

Ilustración 4. Plano en corte de inyector de resina 111

Ilustración 5. Redes de fluidos de aditivos en planta Tableros MDF 112

Ilustración 6. Formulación de resina 112

Ilustración 7. Ensayos destructivos que se realizan a tableros MDF 113

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

PROJET	:	Sistema de inyección de resina y aditivos
MDF	:	Medium Density Fiber Board
MDP	:	Medium Density Particle Board
Layout	:	Plano identificatorio que evidencia disposición de componentes
PLC	:	Controlador Lógico Programable
P&ID	:	Pipping and Instrumentation Diagram
%	:	Porcentaje
°C	:	Grados Celsius
UF	:	Urea-Formaldehído
°F	:	Grados Fahrenheit
T°	:	Temperatura
ANSI	:	American Nacional Standards Institute
ASME	:	American Society of Mechanical Engineers
PSI	:	Pound per Square Inch
Po	:	Presión Atmosférica
Pm	:	Presión Manométrica
Kg	:	Kilogramos
b	:	Bar
N	:	Newton
mm	:	Milímetros
Inch	:	Pulgada
F	:	Fuerza
A	:	Área
Q	:	Caudal
$v^{\rightarrow}$	:	Velocidad
V	:	Volumen
t	:	Tiempo
μ	:	Viscosidad
p	:	Densidad
v	:	Viscosidad Cinemática
KPI	:	Key Performance Indicator
Hz	:	Hertz
PH	:	Potencia Hidráulica
Dv	:	Desplazamiento Volumétrico
Nm	:	Newton Metro
l	:	Largo
h	:	Altura
a	:	Ancho

INTRODUCCIÓN

Planta Tableros MDF (Medium Density Fiber Board), Cabrero, Región del Bío-Bío, es una empresa de carácter industrial ligada al ámbito forestal, que utiliza la madera, específicamente pino radiata, en diversos estados y formas (trozos, astillas o virutas) como materia prima esencial para sus procesos productivos. Actualmente tiene dos plantas a nivel nacional, ambas locaciones situadas en la región del Bío-Bío, al sur del país. Dedicar su línea de negocios principalmente a la producción y posterior comercialización de tableros tanto MDF (Medium Density Fiber Board), como MDP (Medium Density Particle Board) dimensionados, además fabrica molduras o modulares en otros sectores de la planta. Entregando su línea de productos a clientes empresariales tanto nacionales como extranjeros. Todos estos productos están enfocados en dar soluciones integrales de arquitectura para interiores, principalmente a hogares y oficinas para implementar en mueblería o decoración, con un acabado superior y calidad certificada.

La línea MDF (Medium Density Fiber Board) de Planta Tableros MDF, Cabrero, Región del Bío-Bío fue fundada en el año 2007, tiene una capacidad de producción de 310 mil metros cúbicos (m³) anuales aproximadamente. En esta línea productiva se encuentra el sistema de resina adhesiva y aditivos, PROJET, en edificio de desfibrado, que es el tema que estará en cuestión a lo largo de este documento.

Específicamente la Planta Tableros MDF, Cabrero, Región del Bío-Bío, cuenta con alrededor de 300 empleados en diversas áreas y turnos, pudiendo así dar continuidad y sostenibilidad a sus procesos productivos.

Esta memoria consta esencialmente en realizar una elaboración de una propuesta de plan de mantenimiento preventivo específico al sistema de inyección de resina PROJET, ubicado en planta tableros, edificio desfibrado, línea MDF (Medium Density Fiber Board). Todo esto se deduce luego de una inspección buscando las debilidades y falencias de este sistema que reviste una criticidad muy importante para el proceso productivo de tableros dimensionados. Buscando como objetivo primordial con esta propuesta, mejorar la confiabilidad, evitar mantenciones imprevistas o no planificadas, evitar fallos y paradas inesperadas, pérdidas de producción o baja de la calidad del producto. Por ende, todo esto se ve traducido en la búsqueda de generar y luego mejorar indicadores de mantenimiento (KPI) y evitar pérdidas económicas por mencionados fallos o deficientes mantenciones a equipos del sistema PROJET.

Para elaborar esta propuesta de plan de mantenimiento se detallará el principio de funcionamiento, especificaciones técnicas, componentes con su respectiva ubicación y todo lo relacionado al sistema PROJET.

Cabe señalar que este sistema de inyección de resina es tecnología alemana, fabricado por la firma Dieffenbacher, empresa conocida en dar soluciones industriales a nivel mundial. Donde Planta Tableros MDF, Cabrero, Región del Bío-Bío adquirió a este proveedor el sistema de inyección, incluyendo su posterior montaje, puesta en marcha y su respectiva relación postventa, o sea adquisición de repuestos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Generar propuesta de plan de mantenimiento preventivo para sistema de inyección de resina PROJET en Planta Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío con la finalidad de salvaguardar sistema y aumentar su confiabilidad

Objetivos Específicos

- Efectuar un levantamiento de componentes y equipos asociados al sistema PROJET, con su respectiva descripción
- Describir como se lleva a cabo el proceso de inyección de resina y aditivos a línea de secado MDF
- Establecer criticidad y jerarquización a componentes asociados al sistema PROJET y generar datos estadísticos a través del tiempo (historial del equipo)
- Desarrollar los pasos y requerimientos necesarios para desarrollar propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad
- Realizar un detallado estudio de costos asociados a propuesta de plan de mantenimiento preventivo

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En este capítulo inicial se dará a conocer el encadenamiento productivo de la empresa para la producción de tableros dimensionados, además se detallará el proceso de inyección de resina y aditivos a fibras en línea de secado MDF (Medium Density Fiber Board), nombrando, describiendo y cuantificando los componentes asociados al sistema PROJET. Todos los antecedentes y datos que se entregarán en este capítulo inicial serán fundamentales para generar la propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.

RESEÑA DETALLADA DE PROCESO PRODUCTIVO PLANTA TABLEROS MDF

El encadenamiento productivo de la empresa Tableros MDF, Cabrero, Región del Bio-Bio comienza con la adquisición y tratamiento de la materia prima empleada, dicha materia prima es adquirida a terceros, o sea proveedores externos, debido a que en el año 2020 la empresa vendió todos sus activos forestales en el país, para reducir costos asociados a la producción de pinos y la mantención de predios forestales. La materia prima usada por la empresa es el pino radiata, que se trata de diferentes formas al momento de llegada a planta, una forma de llegada de la materia prima es mediante camiones con troncos pulpables, donde se almacenan junto con seleccionarlos, para que enseguida pasen los trozos o troncos por un descortezador rotatorio para quitar la corteza y reducir el tamaño, posteriormente se conduce a un triturador para reducirlo a pequeñas astillas (chips o virutas), la segunda forma de abastecimiento se da con la llegada de camiones tolva directamente con astillas (chips o virutas), estas son almacenadas en contenedores subterráneos para luego ser llevadas y resguardadas en grandes silos a través de cintas de transporte, para luego ser usadas según la necesidad. Todo este tratamiento que se le realiza se lleva a cabo en zona conocida como Materias Primas. De igual forma llega la materia prima en forma de polvo de madera, pero no se considera en este caso ya que sirve para la producción de tableros con otra composición como lo son los tableros MDP (Medium Density Particle Board). Continuamente las astillas de madera pasan por diferentes cribas donde se lleva a cabo la limpieza de las astillas, donde se busca eliminar todo agente externo, estos pueden ser metales, piedras, arena, pequeñas ramas o palos, entre otros. Así llega el proceso de lavado de astillas que se realiza mediante una bomba centrífuga desde el estanque de agua de recirculación, que lava la astillas en un tanque con líneas giratorias, terminando de liberar impurezas y solidos pesados que decantan por gravedad en el movimiento giratorio. Una vez limpias las astillas de maderas llegan al precalentador donde son sometidas a un tratamiento con vapor de agua saturada a

presión de 8 (bar) aproximadamente, esto a fin de realizar una transferencia térmica para debilitar las hebras o fibras de las astillas. Posterior a ello las astillas ya calientes y con la humedad requerida pasan al edificio de desfibrado donde se encuentra el desfibrador termo-mecánico, que tiene como función convertir las astillas a fibra, esto se lleva a cabo gracias a que dentro del desfibrador existen discos metálicos con estrías, en donde un disco es fijo y el otro rotatorio, que mediante una acción centrífuga, estruja y succiona las astillas por un lado (ingreso), pasan las astillas por los discos estriados y luego sale por el otro lado (egreso), siendo expulsada la fibra saliente de este proceso hacia la línea de secado a través de una válvula de soplado. Continuamente la fibra llega al sistema PROJET, en donde se le aplica resina y aditivos conjuntamente, mediante 20 líneas de inyección. Esta inyección es posible gracias a los tanques de acumulación de resina que son abastecidos mediante camiones externos, y mediante bombeo se realiza la transferencia de la resina, continuamente esta resina es conducida a un sector de dosificación de resina para luego llegar al sistema Dieffenbacher que mediante múltiples componentes mecánicos es capaz de realizar atomizaciones de resina a través de la línea de secado, cabe señalar que se trabaja con la resina y aditivos a una presión de 10-12 (bar), agua a presión de 10-12 (bar) y vapor de agua sobresaturado a 10-12 (bar). Este proceso de aplicación de aditivos es esencial para administrar a las fibras propiedades físicas y mecánicas requeridas para el proceso de prensado y cumplir los estándares de calidad. Toda la fibra ya con aditivos es conducida a un proceso de secado a alta temperatura entre un rango de 70–80 (°C) seguidamente la fibra ya seca sin humedad y con la resina junto con aditivos adquiridos pasa a válvulas rotatorias, encargadas de conducir la fibra hacia los ciclones de almacenamiento. Cabe destacar que la energía térmica, que contempla la generación de vapor y tratamiento de aceite térmico, producida en la empresa que abastece a sus procesos productivos tales como hornos, precalentadores, calentadores, calderas y asociados se debe a la planta de generación de energía (planta térmica), en este caso para el proceso de desfibrado alimenta a precalentadores, digestor y sistema PROJET, luego de ya realizado el proceso de desfibrado alimenta a calentadores para proceso de secado.

Una vez la fibra de madera ya calentada e ingresada a los ciclones, llega a la línea de formación MDF (Medium Density Fiber Board), en donde se comienza a formar los mantos de fibra, partiendo por un manto central medio que posee el mayor espesor, que es comprimido por rodillos, luego diferentes mantos superiores que una vez conformados se unen al manto central, lo mismo sucede con el manto inferior, todo este proceso se desarrolla en un ambiente cálido óptimo que debe rondar los 40 (°C), para ello en época

de invierno es necesario el apoyo de termo-ventiladores eléctricos. Seguidamente formado los mantos de fibra ya unidas, se realiza un proceso de pre-prensado en frío, esto para ir preparando la materia prima. Comienza el proceso de prensado mecánico final en prensa KÜSTERS donde luego del pre-pensado en frío, se realiza un prensado en caliente con vapor y con aceite térmico en donde las placas compactadoras superior e inferior aplican mediante sus caras el aceite térmico a alta temperatura, esto a fin de que se produzca una reacción química en donde el aceite térmico caliente logre activar la resina previamente atomizada en las fibras, asegurando una correcta adhesión de los aportes de las capas de fibra, esto se realiza a temperaturas de 265 (°C). En el sistema de prensado se realiza la compactación final, a la salida de este proceso se controlan variables como peso, que depende del formato de dimensión que se está produciendo, temperatura de salida que bordea los 90 (°C), humedad del tablero, que en los tableros MDF (Medium Density Fiber Board) es de 8%. Estos controles se van realizando mediante diversos sensores instalados en la línea de producción. A continuación, se realiza el corte de tablero según el formato y dimensiones requeridas, esto se realiza mediante dos carros con cierras volantes que estas dispuestas de forma transversal, que realiza el corte limpio. El tablero aún a una temperatura elevada, continúa transitando por un cinta de transporte de rodillos, donde llega a la rueda giratoria enfriadora de 360°, donde van ingresando constantemente tableros ya dimensionados, que giran durante un lapsus para dejar enfriar cada tablero durante un tiempo de 1 hora aproximadamente para luego salir de esta rueda giratoria enfriadora, enfilando hacia los apiladores que es un sistema mecánico y neumático donde se acumulan una cierta cantidad de tableros para luego ser trasladados por grúas horquillas, hacia la línea de terminación MDF (Medium Density Fiber Board) encargada de cumplir con los controles y estándares de seguridad.

En los últimos procesos de producción, en la línea de terminación MDF (Medium Density Fiber Board) se almacenan en un centro de acopio los tableros resultantes del proceso en la línea MDF (Medium Density Fiber Board), el primer proceso de la línea de terminación MDF (Medium Density Fiber Board) comienza introduciendo los tableros en la cinta de transporte que conduce hacia una lijadora de dos caras, en donde se busca limar y eliminar asperezas, o terminaciones abrasivas de alta rugosidad, que pueda tener el tablero y generen desniveles. Luego se realiza un proceso de formateo de tablero donde mediante un PLC y cierras de corte se realiza cortes transversales y longitudinales para alcanzar formatos requeridos en producción para pedidos de clientes, finalmente se realiza el empaque y despacho a clientes mediante transporte terrestre de camiones de carga.

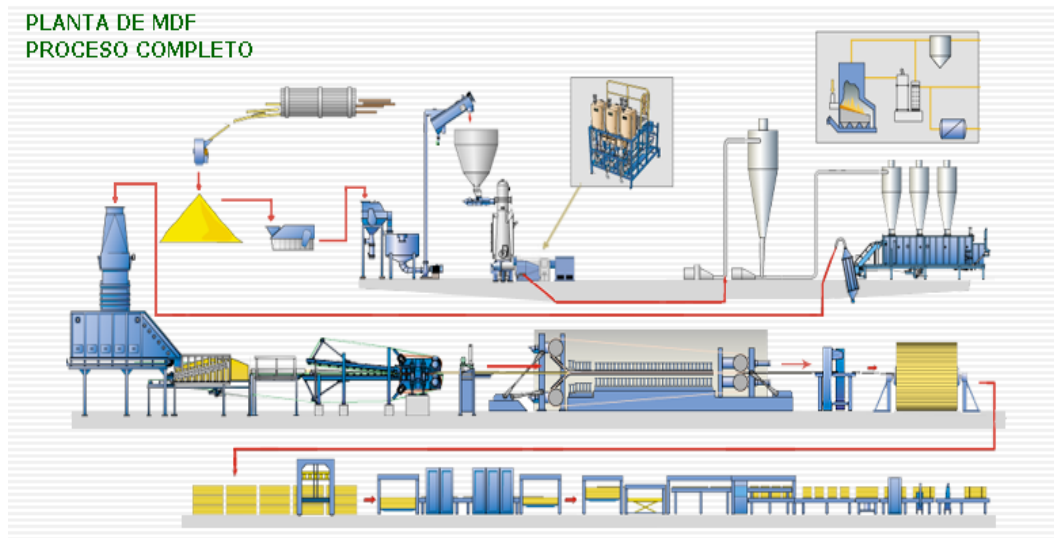


Figura 1. *Proceso Productivo Planta Tableros MDF*

(Projector Macromedia, Figura de proceso productivo planta tableros MDF, 2024)

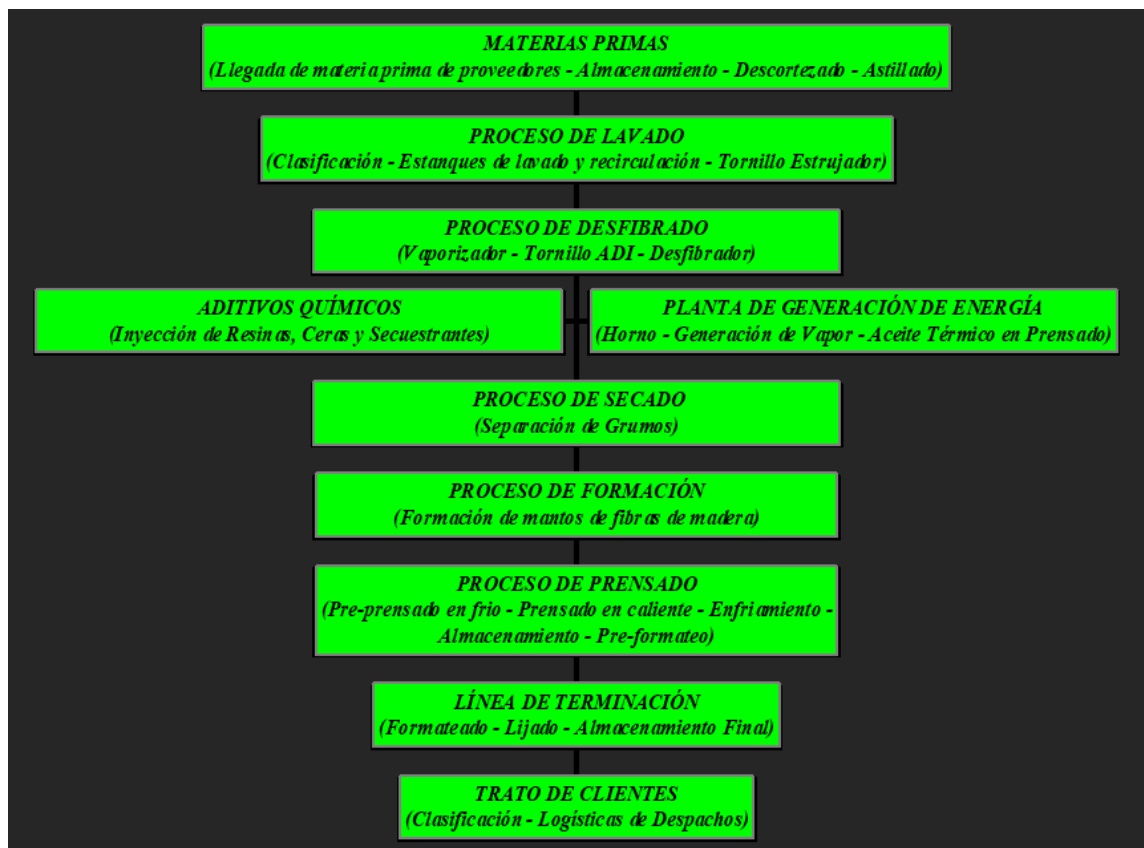


Figura 2. *Diagrama de Bloques de Proceso Productivo Planta Tableros MDF*

(Riquelme A., Figura de diagrama de bloques de proceso productivo planta tableros MDF, 2024)

DESCRIPCIÓN DE PRINCIPALES PROCESOS PRODUCTIVOS Y COMPONENTES DE PLANTA TABLEROS MDF

RECEPCIÓN Y MANEJO DE ASTILLAS (MATERIAS PRIMAS MDF)

En Planta Tableros MDF (Medium Density Fiber Board), la materia prima que se emplea para sus procesos productivos es el pino radiata, este se caracteriza por ser muy versátil por sus usos, por ello acapara gran parte de la industria maderera debido a sus buenas características anatómicas al ser sometido en cadenas de producción, de igual forma debido a su menor costo en proceso de plantación y mantenimiento forestal, ya que es uno de los árboles que se adapta de mejor forma a los diversos tipos de suelo y condiciones climáticas adversas, además de resistir de buena forma plagas y enfermedades. Esta materia prima es adquirida a terceros, debido a que Planta Tableros MDF (Medium Density Fiber Board) se desprendió del negocio de producción forestal. Se aplica diversos procesos, según forma y estado de llegada a planta (trozos, astillas).

El proceso de recepción y manejo de astillas (materias primas MDF), consta con los siguientes subprocesos, unidades y/o componentes principales:

- Descortezado y Manejo de Cortezas
- Astillado
- Tolva de descarga de camiones
- Transporte y silos de almacenamiento de astillas
- Harneado y Clasificado de Astillas

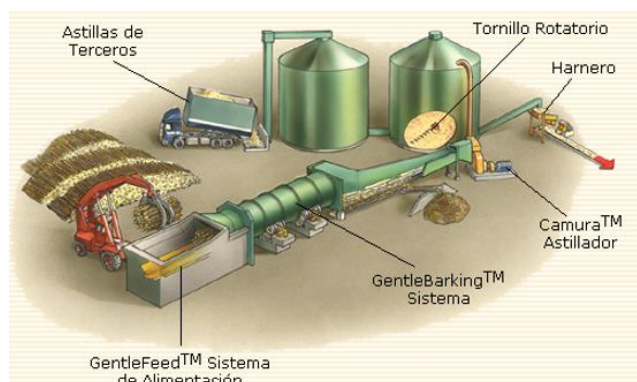


Figura 3. *Proceso Tratamiento Materias Primas*

(Projector Macromedia, Figura proceso tratamiento materias primas, 2024)

Descortezado

Los rollizos o troncos son trasladados desde el patio de acopio al descortezador que puede ser de diferentes tipos de principio de funcionamiento, en este caso la planta cuenta con el descortezador de tipo tambor hidráulico GENTLEBARKING. Este proceso consta en extraer la corteza al tronco o rollizo donde esta pasa a ser un residuo que será utilizado posteriormente como combustible para la generación de energía calórica en planta de generación de energía (planta térmica). Después se da continuidad hacia la etapa de clasificación, en la cual será derivado a una fase de astillado.

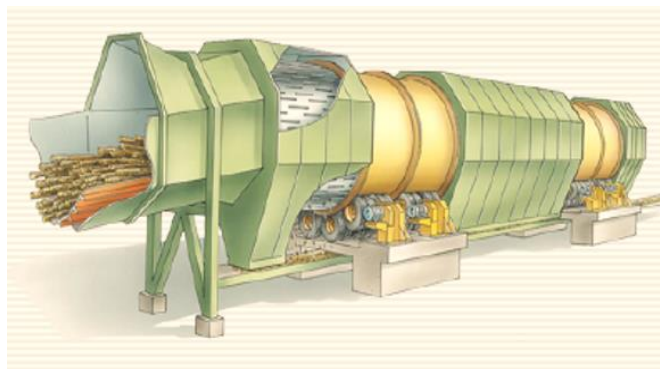


Figura 4. *Descortezador tipo Tambor Rotatorio, GENTLEBARKING*
(Projector Macromedia, Figura de descortezador Gentlebarking, 2024)



Figura 5. *Descortezador tipo Tambor Rotatorio, GENTLEBARKING*
(Riquelme A., Figura de descortezador Gentlebarking, 2024)

Astillado

Este proceso consta en reducir, triturar y convertir en astillas los rollizos. Esto se realiza a través de astilladoras CAMURA de disco tanto horizontal y vertical, es importante mencionar que dicha operación determinará la uniformidad del tamaño de la astilla y también su calidad, la que tendrá una importante incidencia en transcurso del proceso.



Figura 6. *Astillador Vertical CAMURA*

(Projector Macromedia, Figura de astillador vertical Camura, 2024)

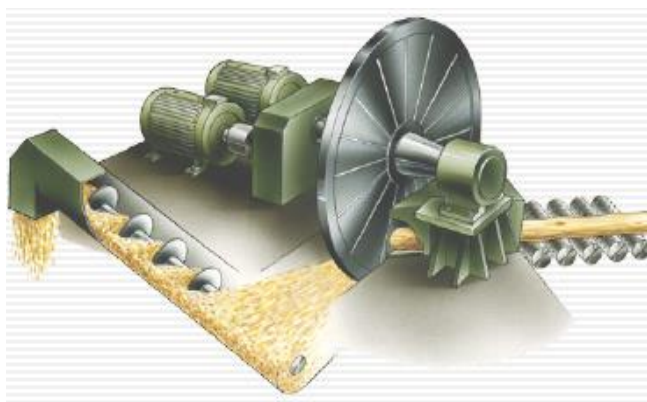


Figura 7. *Astillador Horizontal CAMURA*

(Projector Macromedia, Figura de astillador horizontal Camura, 2024)

Tolva de descarga de camiones

Existen dos grandes silos de almacenamiento, uno que es para astillas producidas en planta, sector Materias Primas y adicionalmente otro silo donde los camiones descargan directamente las astillas. Los camiones una vez controlados en peso, calidad y clasificación en la recepción son trasladados a la tolva de descarga de camiones, donde son guiados hacia una plataforma que es controlada a través de un sistema neumático. La carga de materia prima es vertida sobre esta plataforma la cual está constituida por una malla de seguridad la que impide el paso de astillas sobredimensionadas, posteriormente las astillas preseleccionadas caen al vacío sobre la tolva receptora, esta última esta provista de dos tornillos sin fin a lo largo de su estructura en la cual su función principal es de trasladar las astillas en forma controlada y dosificada de acuerdo con su velocidad de giro hasta el siguiente transporte.

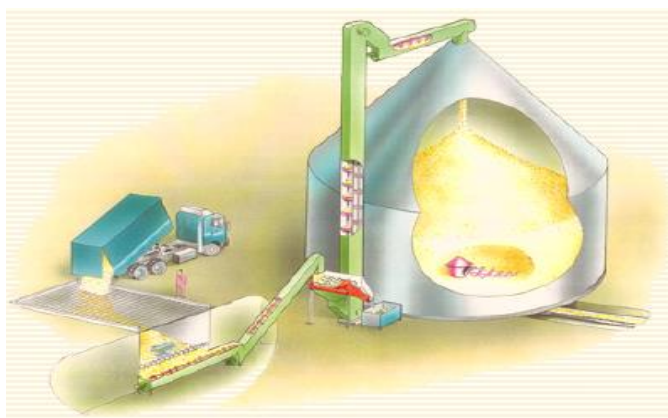


Figura 8. *Tolva para descarga de astillas de camiones hacia silo*
(Projector Macromedia, Figura tolva para descarga de astillas de camiones, 2024)

Transporte y silos de astilla

Las astillas son transportadas hacia los contenedores o silos de astillas a través de un sistema de cinta de transporte por banda la que es impulsada por medio de un motor reductor. Las bandas trasladan las astillas a unos contenedores de materia prima denominados silos de astillas los cuales tienen diferentes finalidades uno para el almacenamiento de materia prima en estado verde y otro silo para almacenar astillas en estado seca. Estos acumuladores poseen grandes dimensiones para así asegurar un

stock de materia prima. Los silos están provistos de tornillos de alimentación hacia el siguiente transporte el cual conducirá las astillas al proceso de clasificación.

Harnero y clasificación de astillas

Una vez alimentada la banda de transporte desde el silo de astillas hacia la etapa de clasificación, estas pasan por un sistema de seguridad magnética de detección de metales lo cual evitara un daño en los equipos más adelante en el proceso. La clasificación se realiza por medio de un harnero el cual está constituido por un enmallado con orificios de diámetro 30 (mm). La dimensión de este diámetro es la que determinara la clasificación de la materia prima de acuerdo con requerimientos ya establecidos. Las astillas seleccionadas seguirán el proceso mientras que las sobre dimensionadas volverán a ser astilladas y el resto de los finos serán utilizados como combustible para la planta de generación de energía (planta térmica).



Figura 9. *Harnero Clasificador de Astillas*

(Riquelme A., Figura de harnero clasificador de astillas, 2024)



Figura 10. *Desechos Metálicos captados en cinta de transporte*

(Riquelme A., Figura de desechos captados en cinta de transporte, 2024)

LAVADO DE ASTILLAS

El proceso de lavado comienza trasladando por un ducto las astillas, que las derivará al estanque de lavado formado por un tambor con un impulsor para hacer girar mecánicamente un sistema de aspas, el que producirá un efecto centrífugo con la mezcla de agua y astillas. En este proceso se lleva a cabo la limpieza de las astillas en el cual por dicho efecto centrífugo, las partículas más pesadas decantarán y pasaran a otro proceso. Las astillas una vez limpias pasarán por rebalse a un próximo estanque en el cual se mantendrán por unos 2 minutos sumergidas en agua y que por el efecto centrífugo producido ahí las astillas serán humectadas de una forma rápida para así facilitar el proceso de desfibrado y por ende la obtención de una buena fibra. Es preciso mencionar que toda el agua utilizada en el proceso de lavado de astillas proviene de Planta de Efluentes, encargada de darle tratativa al circuito de recirculación de agua. Las aguas utilizadas en esta etapa pasan por una serie de estanques encargados de limpiar o de cierta forma decantar las impurezas purificando el agua, que volverán al proceso mientras que las partículas más pesadas como arena, piedras, metales pequeños derivarán en un tratamiento especial de manejo de residuos sólidos.

Las ventajas de realizarle un proceso de lavado a las astillas son:

- Reduce las partículas de impureza (arena principalmente)
- Mejora la calidad de las astillas, por ende, puede mejorar la calidad de fibra
- Incrementa el tiempo de duración de segmentos del desfibrador
- Reduce el desgaste de componentes de equipos

El proceso de lavado de astillas consta con los siguientes subprocesos, unidades y/o componentes principales:

- Separador e impulsor de astillas
- Tornillo Drenador
- Estanque acumulador y estanque de recirculación
- Hidrociclón



Figura 11. Proceso de lavado de astillas
 (Projector Macromedia, Figura de proceso de lavado de astillas, 2024)

Separador e impulsor de astillas

Las astillas hacen ingreso desde el proceso de harneado y clasificado hacia planta de lavado, donde se encuentra como primer filtro una bomba centrífuga, en este sector se liberan y decantan impurezas, realizando un proceso de pre-lavado, gracias al giro antihorario de las aspas, esto, para mejorar calidad de astillas, esta alimentación hídrica viene desde el estanque de recirculación. A parte de realizar una limpieza, envía las astillas hacia el estanque Chip Sump. Este estanque básicamente es el encargado de recibir las astillas, para que se sumerjan en agua, acumulando ciertas cantidades requeridas de astillas, las cuales decantan en el fondo cónico del estanque chip sump, dando paso al tornillo drenador.

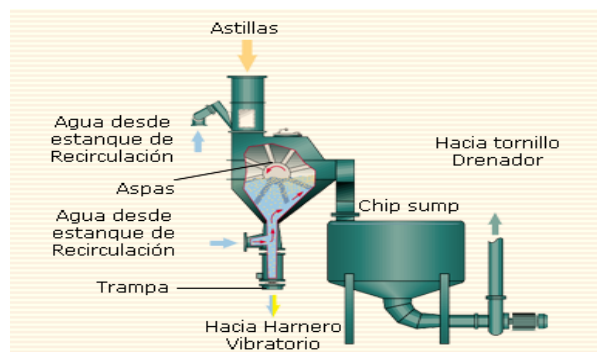


Figura 12. Separador e impulsor de astillas
 (Projector Macromedia, Figura de separador e impulsor de astillas, 2024)

Tornillo Drenador

Este equipo mecánico es el encargado de realizar la separación de las astillas del agua, para impulsarlas y que pasen al siguiente proceso. Primeramente, se recibe la mezcla de agua y astillas impulsada mediante una bomba de transporte desde estanque Chip Sump, continuando entra al habitáculo donde se encuentra un tornillo giratorio sin fin, este tornillo de drenado se encuentra posicionado de forma diagonal, con una inclinación de 45°, por ende, por efecto de gravedad el agua decantará y volverá al proceso, es decir retorna al estanque de recirculación y las astillas serán conducidas gracias al tornillo mecánico y motor reductor a la etapa de vaporizado y desfibrado.



Figura 13. *Tornillo Drenador*

(Projector Macromedia, Figura de tornillo drenador, 2024)

Estanque acumulador y de recirculación

Esta parte del proceso de lavado de astillas consta de 2 estanques interconectados, alimentadores de agua para todo el proceso de lavado. El estanque acumulador, que es de mayor capacidad de metros cúbicos (m³) obtiene agua para el proceso de limpieza principalmente del tornillo drenador y el hidrociclón, esto permite que se comience a llenar paulatinamente, este estanque tiene un sistema de rebalse, que consta con un ducto interior central, donde al producirse el alcance máximo del estanque el agua rebalsa y comienza a pasar por el ducto interior de este, alimentando continuamente de agua al estanque de recirculación, que a su vez es capaz de entregar agua limpia hacia el sistema de lavado e impulsión de astillas y además recircular el agua limpia gracias a una bomba periférica.

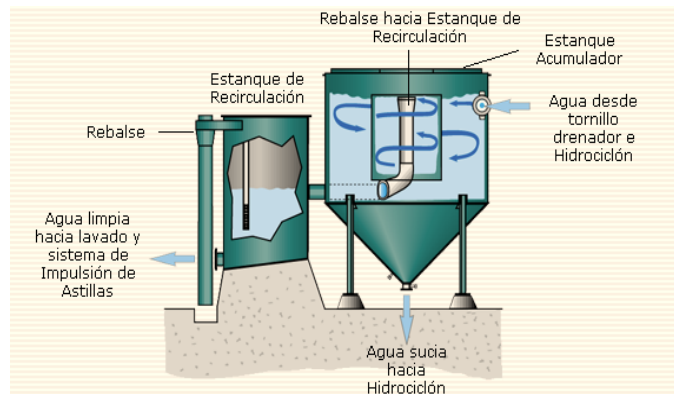


Figura 14. *Estanque Acumulador y de Recirculación*

(Projector Macromedia, Figura de estanque acumulador y recirculación, 2024)

Hidrociclón

Es un equipo mecánico de forma cilíndrica en su parte superior y cuerpo cónico, sin partes móviles. Cuenta con entrada de alimentación desplazada desde estanque de recirculación, donde al entrar el agua, se desplaza de forma helicoidal creando un movimiento del agua similar a un remolino al interior del cuerpo del hidrociclón, separando, liberando y decantando principalmente impurezas sólidas pequeñas por gravedad, que salen por la parte inferior del hidrociclón, para que no vuelvan al proceso, todo este funcionamiento se da gracias a la fuerza centrífuga. Luego el agua limpia sale expulsada por ducto cilíndrico superior, para ser reutilizada nuevamente en estanque acumulador y de recirculación.

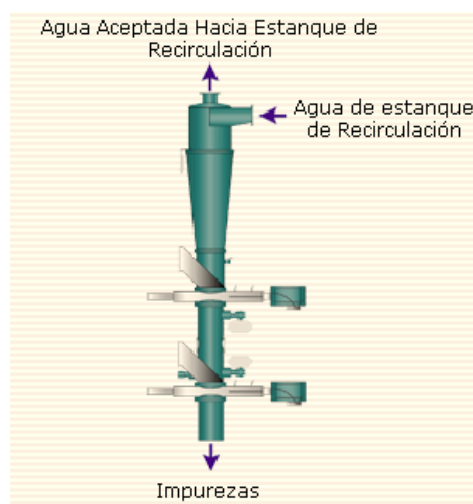


Figura 15. *Hidrociclón*

(Projector Macromedia, Figura de hidrociclón, 2024)

PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (PLANTA TÉRMICA)

La planta de generación de energía tiene como función principal generar energía térmica, principalmente, gases calientes (vapor), usados en variados procesos de planta MDF (Medium Density Fiber Board), tales como secado directo de la fibra de madera y para generar aumento de temperatura del aceite térmico usado para proceso de prensado y para mantener un ambiente cálido en línea de formación, así aumenta la temperatura de la fibra, para una mejor calidad de producción. Esta energía calórica, se produce gracias a la combustión de biomasa, permitiendo generar un rango de temperatura en la cámara de combustión (horno u hogar), de entre 850 (°C) a 1000 (°C).

El combustible empleado para la combustión es una mezcla compuesta principalmente por los siguientes elementos:

- Corteza (40%)
- Aserrín (20%)
- Fibra de rechazo (20%)
- Recortes y despuntes de tableros (20%)

En la cámara de combustión es donde se genera la energía calórica para abastecer subprocesos continuos en línea MDF (Medium Density Fiber Board). Esta energía se obtiene quemando en su interior material combustible, principalmente corteza (40%), aserrín (20%), fibra de rechazo (20%) y recortes junto a despuntes de tableros (20%). Estos se mezclan en porcentajes mencionados para ingresar a la cámara, para lograr una combustión estable y efectiva, con un alto valor calórico. La cámara de combustión cuenta en su interior con ladrillos refractarios para aislar junto con preservar la estructura de las altas temperaturas generadas en el interior, además, parrillas hidráulicas móviles y fijas donde es depositado el combustible ya mezclado, posteriormente trasladado por las parrillas, donde es quemado gradualmente en el hogar, siendo incinerado totalmente hasta convertirlo en escorias y cenizas, conduciendo estos desechos hacia la parte baja, posterior del hogar, a través de un chute, para ser eliminado.



Figura 16. *Planta de Generación de Energía (Planta Térmica)*

(Riquelme A., Figura de planta de generación de energía, 2024)

VARIABLES Y VALORES PRINCIPALES DE PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (MDF)	
<i>Temperatura Hogar</i>	850 (°C) a 1000 (°C)
<i>Presión Hogar</i>	12 (bar)
<i>Depresión Hogar</i>	40 a 50 (mmca)
<i>Temperatura de cámara de mezcla</i>	300 (°C) a 400 (°C)
<i>Temperatura Aceite Térmico Shell Oil B</i>	265 (°C) a 275 (°C)
<i>Presión de gases a ducto de secado</i>	-16 a -14 (mmca)

Tabla 1. *Variables y valores de Planta de Generación de Energía MDF*

(Riquelme A., Tabla de variables de planta de generación de energía, 2024)

En el horno u hogar, se producen 3 etapas principalmente, las cuales son:

- **Proceso de Secado:** Mientras la mezcla de material combustible es trasladada por las parrillas móviles desde la parte superior, hacia el horno, parte inferior, debido a la temperatura de la cámara de combustión se va realizando la extracción natural de la humedad residual de procesos anteriores, antes de llegar al horno para ser quemado.



Figura 17. *Parrillas Transportadoras de material combustible*
(Riquelme A., Figura de parrillas transportadoras, 2024)

- **Proceso Interno de Combustión:** En esta etapa se produce la combustión directa de la mezcla de material y se alcanza la temperatura aproximada de 600 (°C) en ese momento, pero debido a que la temperatura normal de trabajo oscila en el rango de 850 (°C) a 1000 (°C), se apoya de un inyector de polvo de lijado el cual posee un alto poder calórico y que al combustionar aumenta la temperatura del horno significativamente llegando a la de trabajo. Este polvo es almacenado en un silo contiguo a la planta de generación de energía y es el generado del proceso del lijado de los tableros.



Figura 18. *Proceso de Combustión en Hogar*
(Riquelme A., Figura de proceso de combustión en hogar, 2024)

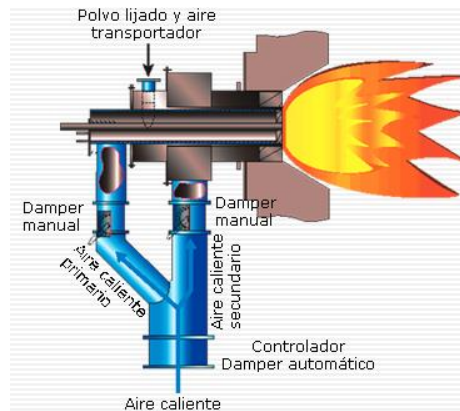


Figura 19. Inyector de Aporte Polvo de lijado a hogar
(Projector Macromedia, Figura de inyección de polvo de lijado, 2024)

- Trata de Escorias: Etapa final que se da luego de la combustión en el horno, donde el material incinerado, convertido en escorias sale del horno y es depositado en chutes sumergibles con agua, para enfriar desechos, trasladando y disponiendo este material en zona demarcada para el retiro con equipos móviles junto con su eliminación.



Figura 20. Chute para eliminación de escorias y cenizas
(Riquelme A., Figura de chute para eliminación de escorias, 2024)

El sistema de combustión en el horno cuenta con dos entradas de aire tanto primaria como secundaria. Estos son inyectados al interior del horno a través de dos ventiladores por la parte inferior y superior respectivamente. La fuente de aire primaria tiene la función de quemar el combustible en las parrillas y la fuente de aire secundaria es para mejorar la combustión a causa del aporte adicional de aire.

La tratativa y uso que se le da a los gases calientes y aceite térmico en la planta de generación de energía consta en:

- Secado de fibra: Los gases calientes a 850 (°C) – 1000 (°C) son conducidos desde la planta de generación de energía a la cámara de mezcla de gases de esta, para posteriormente ingresar a los ciclones los cuales tienen la función de limpiar los gases de las cenizas y material particulado para decantar estos residuos hacia una rastra sumergible en agua. Una vez limpios los gases son conducidos por el ventilador principal a la primera etapa de secado.



Figura 21. *Secado de Fibra con gases calientes*

(Riquelme A., Figura de secador de fibra con gases calientes, 2024)

- Aceite térmico: Este fluido (Shell Oil B) se calienta a través de la cámara de radiación que es donde ingresan los gases calientes provenientes del hogar y transfieren calor al aceite térmico que va circulando a través de serpentines tubulares por la cámara de radiación (desde cámara radiación 1 hacia cámara radiación 2). En este proceso se realizan dos transferencias de calor por convección y una por radiación de los gases calientes al aceite térmico. La temperatura que alcanza el aceite térmico luego de la transferencia calórica es de aproximadamente 265 (°C) a 275 (°C). Este aceite térmico posteriormente pasa por el generador de vapor que alimenta de vapor a alta presión al vaporizador a 3 (bar), al digestor a 9 (bar) y a la válvula de soplado.

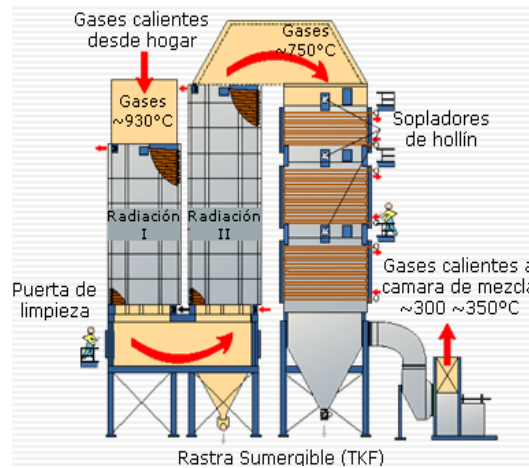


Figura 22. Cámara GEKA, transferencia de calor Gases Calientes - Aceite Térmico (Projector Macromedia, Figura de cámara geka, 2024)

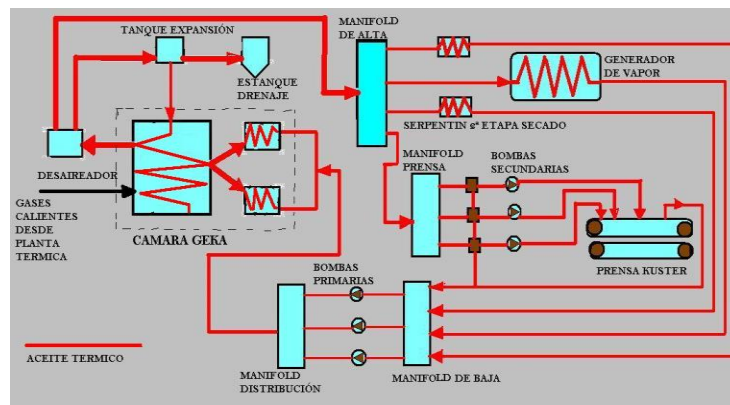


Figura 23. Diagrama de Flujo de Aceite Térmico en Planta Tableros MDF (Projector Macromedia, Figura de diagrama de flujo de aceite térmico, 2024)

PROCESO DE DESFIBRADO

Esta parte del proceso productivo MDF (Medium Density Fiber Board) es uno de los más complejos y esenciales debido a la importancia de los equipos y variables que inciden, pues en el edificio de desfibrado se lleva a cabo la conversión de las astillas de madera a fibra de madera. Es primordial el control de variables para una correcta preparación de la fibra ya que en esta etapa se define gran parte de la calidad del producto final, siendo esencial la fibra para las etapas venideras.

El proceso de desfibrado consta con los siguientes subprocessos, unidades y/o componentes principales:

- Vaporizador
- Tornillo Alimentador ADI
- Precalentador o Digestor
- Desfibrador
- Segmentos (discos)

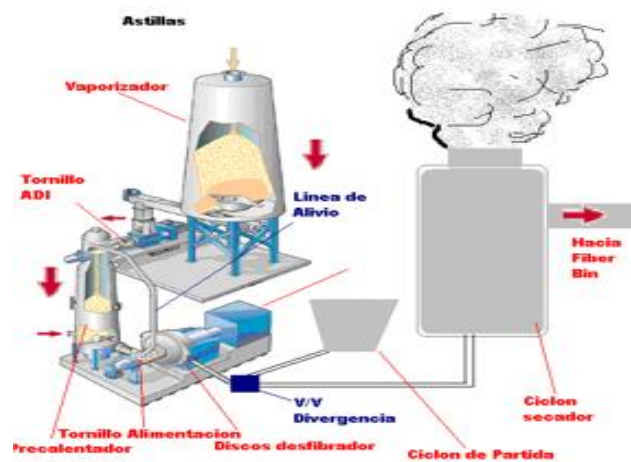


Figura 24. *Proceso de Desfibrado*

(Projector Macromedia, Figura proceso de desfibrado, 2024)

Vaporizador

Equipo que tiene como función principal pre-impregnar las astillas con vapor a baja presión 3-4 (bar), para homogenizar las astillas con leve humedad y alta temperatura. También es el vapor el encargado de retirar el aire de entre las astillas para mejorar la transferencia de calor y ablandar las mismas. Además, al aplicarle vapor, permite disolver las resinas naturales concentradas en las astillas de pino radiata, evitando que se endurezca en los siguientes procesos. Este equipo se hace responsable de resistir constantes presiones y temperaturas por lo cual, su cuerpo está constituido en su totalidad de acero inoxidable. En su interior se trabaja con variables de presión hasta 4 (bar) y temperatura hasta 90 (°C).



Figura 25. *Vaporizador*

(Projector Macromedia, Figura de vaporizador, 2024)

Tornillo Alimentador ADI

Equipo mecánico siguiente al vaporizador, que cumple como función el traslado de las astillas desde el vaporizador hasta el precalentador (digestor) a través de un tornillo sin fin, también asegura un taponamiento entra la presión del precalentador y el vaporizador mediante una válvula de cono. Otra función es la de remover el agua de las astillas precalentadas a través de camisas perforadas, donde también monitorea la temperatura del agua de estruje por medio de un sensor de temperatura.

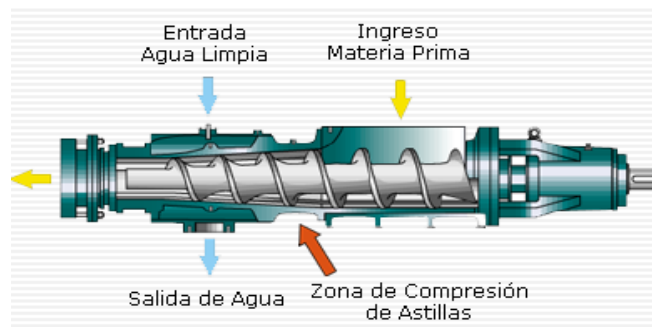


Figura 26. *Tornillo alimentador ADI*

(Projector Macromedia, Figura de tornillo alimentador ADI, 2024)

Precalentador o Digestor

Dispositivo encargado de debilitar y ablandar la unión natural de fibra con fibra dentro de cada una de las astillas de madera, esto se realiza por medio de aplicación de vapor sobresaturado a una temperatura cercana a los 170 (°C), presión de vapor entre 7-9 (bar) y la estandarización de un tiempo de residencia de las astillas el cual va de 2 a 4 minutos. Este debilitamiento interno de fibras permite facilitar el proceso de desfibrado, permite reducir el gasto de energía en refinación y evita un mayor desgaste de los discos o segmentos. En la base del precalentador se encuentra un tornillo de descarga hacia el desfibrador, este proceso es apoyado por un agitador del precalentador para facilitar el traslado de las astillas ya ablandadas.

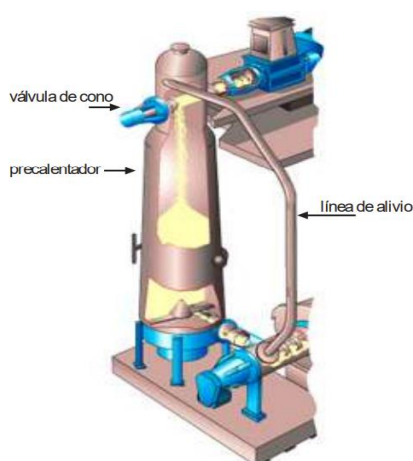


Figura 27. *Precalentador*

(Projector Macromedia, Figura de precalentador, 2024)



Figura 28. *Precalentador*

(Riquelme A., Figura de precalentador, 2024)

Desfibrador

Equipo crítico y central del proceso de desfibrado, este equipo recibe las astillas de madera ya ablandadas desde el precalentador (digestor), posee un motor de 3.5 (KW), que tiene una capacidad de giro de 3400 (RPM). Su función es disgregar las astillas para convertirlas a fibra de madera por medio de fricción fibra a fibra entre las estrías de los segmentos (discos) a través del movimiento mecánico. Esto se lleva a cabo gracias a un tornillo de cinta que traslada las astillas hacia los segmentos, dichos segmentos (discos) de refinación se caracterizan por tener estrías, en donde un disco es fijo y perforado en el centro para permitir el paso de las astillas y el otro rotatorio, que mediante una acción centrífuga, estruja y succiona las astillas por un lado (ingreso), para luego refinar y disgrega las astillas mediante los segmentos estriados, para luego salir por el otro lado (egreso) como fibra, siendo expulsada de este proceso hacia la línea de secado a través de una válvula de soplado. Además, el desfibrador está expuesto a vapor de baja presión para facilitar el proceso de desfibrado. De igual forma posee una línea de inyección de aditivos (cera) para ayudar en el proceso interno de refinación.

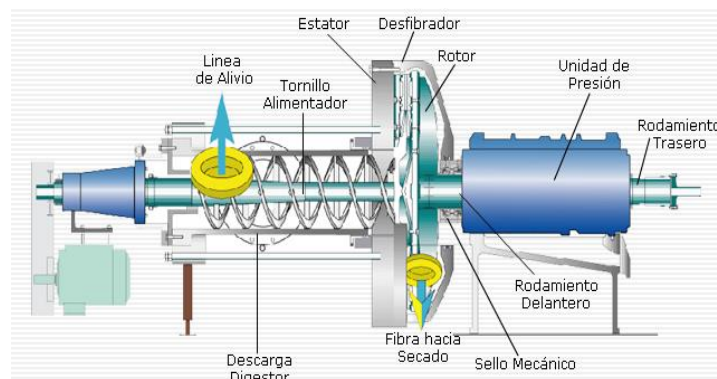


Figura 29. Desfibrador Mecánico

(Projector Macromedia, Figura de desfibrador mecánico, 2024)



Figura 30. Desfibrador Mecánico

(Riquelme A., Figura de desfibrador mecánico, 2024)

Segmentos (discos)

Corresponde a un componente interno esencial del desfibrador, consta de múltiples secciones llamadas segmentos o discos, formada por aleación de metales de alta dureza, (acero al carbono) estas secciones se ubican de forma circular, en la bandeja redonda, entre el estator y el rotor, se caracterizan por ser estriados o ranurados, para que cuando se originen giros a altas velocidades, sea capaz de disgregar, desintegrar y separar las astillas, convirtiendo las astillas a fibra, esto permite obtener una versión mucho más homogénea de la madera, facilitando así el siguiente proceso, que es la inyección de aditivos químicos. Se consideran los segmentos (discos) un componente de alto desgaste ya que funciona constantemente a altas temperaturas y velocidades, por lo que se cambian los segmentos más deteriorados con una frecuencia considerable.

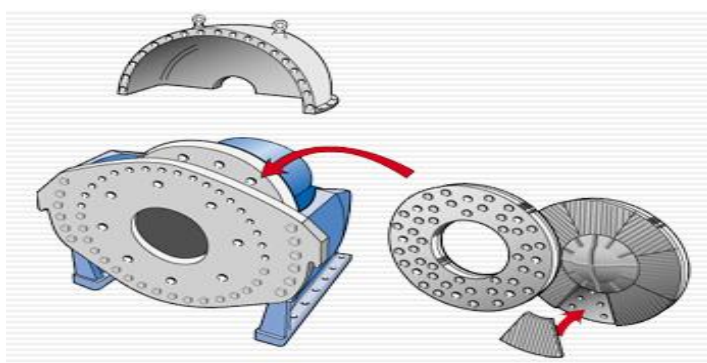


Figura 31. *Disposición de Segmentos (discos de desfibrado)*

(Projector Macromedia, Figura de disposición de segmentos, 2024)

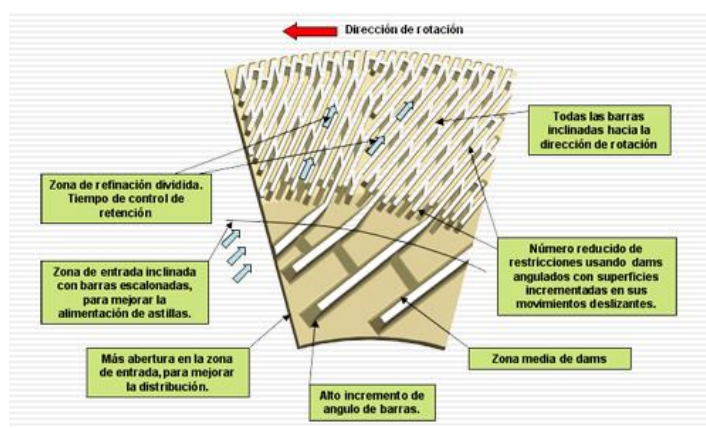


Figura 32. *Descripción de segmentos (discos)*

(Projector Macromedia, Figura de descripción de segmentos, 2024)

INYECCIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS A FIBRA (ESTACIÓN PROJET)

En esta etapa del encadenamiento productivo se comienza a tratar la fibra de madera con productos químicos como aditivos, resinas y secuestrantes, esto para afectar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. Para suministrar estos productos químicos en la línea de secado, se realiza a través del sistema de inyección PROJET, que es un conjunto elaborado por la firma alemana Dieffenbacher. Dicho sistema PROJET permite aplicar resina UF (urea-formaldehído) directamente a las fibras de madera, salientes del proceso de desfibrado y conducidas hacia la línea de secado a una velocidad de 160 (m/s). Este sistema consta de múltiples líneas de inyección de resina, en específico 20 módulos, cada uno de estos cuenta con un actuador neumático junto a válvula de bola de 3 vías, sensor de flujo o flujómetro, flexibles de vapor y agua con resina, inyector con boquillas atomizadoras y actuador elero de inyección. Este sistema es comúnmente implementado en industrias de tableros como MDF (Medium Density Fiber Board) y HDF (High Density Fiber Board). Posee diversas ventajas con respecto a sistemas similares en la industria, como:

- Ahorro de resina de hasta un 15% en comparación a sistemas convencionales
- Ocasiona un menor consumo de energía en el proceso de secado gracias a la entrega optimizada de carga de agua en el proceso de inyección
- Mejor calidad de la fibra debido a menos manchas de resina en su superficie, por buena atomización de boquillas
- Permite realizar trazabilidad a líneas de inyección para efectuar mantenimiento
- Cada boquilla se controla y ajusta individualmente mediante un actuador (elero) de inyección lineal compacto a través de un PLC para obtener un patrón de pulverización uniforme
- La presión de trabajo de la resina, vapor y agua se puede ajustar mediante una pantalla HMI del PLC en tablero de control, según requerimientos
- Puede adaptarse, instalarse o integrarse en cualquier momento en las dependencias existentes en planta
- Ingeniería optimizada para el trazado de la línea de soplado
- Cuenta con accionamientos lineales y sensores con tecnología inteligente IO-link
- La cantidad de líneas puede ampliarse modularmente para aumentar la capacidad de inyección
- El sistema posee estructura de fundación (base o soporte) para poder ser instalado



Figura 33. Sistema de inyección de resina PROJET
(Dieffenbacher, Figura de sistema de inyección de resina PROJET, 2024)

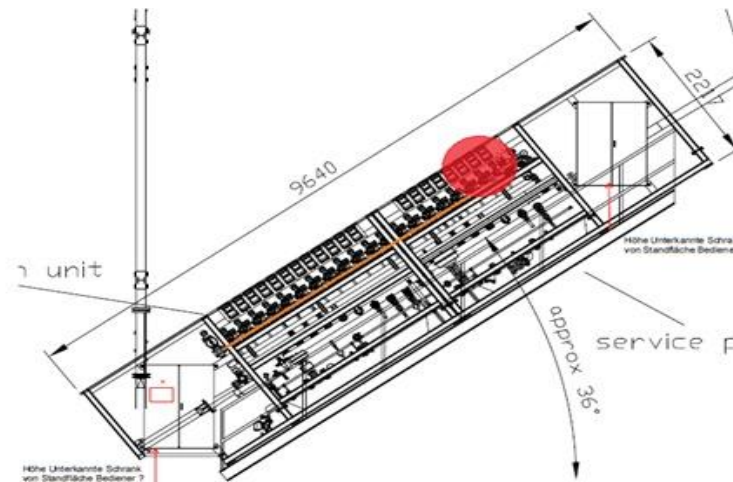


Figura 34. Plano de disposición de sistema de inyección de resina PROJET
(Planta Tableros MDF, Figura de plano de disposición PROJET, 2024)

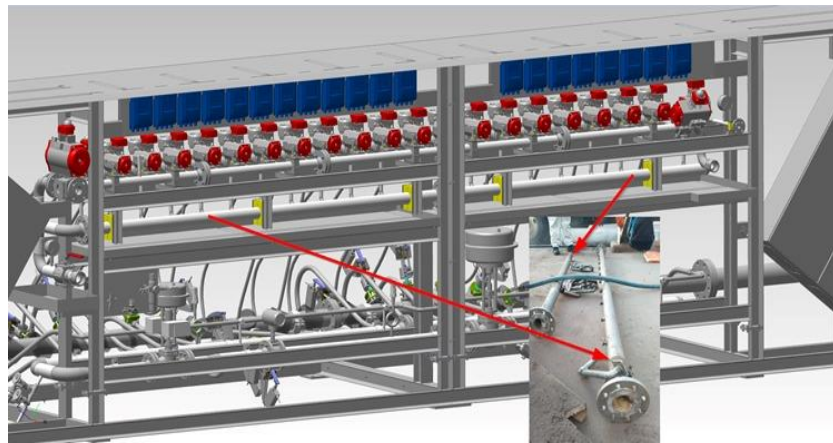


Figura 35. Modelación de sistema de inyección de resina PROJET
(Planta Tableros MDF, Figura de modelación de sistema PROJET, 2024)

En cuanto a la resina que se utiliza para inyectar a las fibras a través del sistema PROJET, se emplea resina UF (urea-formaldehído) es un tipo de resina sintética termoestable ampliamente utilizada en la fabricación de tableros de media densidad como lo son los tableros MDF (Medium Density Fiber Board), tiene una densidad cercana a 1.60 (g/cm³) y una viscosidad de 200 centipoise (cps), esto a temperatura ambiente 20-25 (°C). Esta resina se caracteriza por ser altamente eficiente en su acción aglutinante, crea buenos enlaces entre fibras para el proceso de curado de la resina, su valor económico es menor en relación con otras resinas en el mercado, por ende, menores costos asociados en el proceso de inyección en la fabricación de tableros. Pero posee una deficiencia importante, es que no resiste la humedad del ambiente por tiempos prolongados, por ello los productos fabricados donde se usa esta resina UF son para uso en interiores, lugares con baja humedad. El método de suministro para unir las fibras de madera se realiza mediante la entrega de vapor, junto a agua y resina a una presión de trabajo en rango a 10-13 (bar) a los inyectores del sistema PROJET, que es capaz de mezclar estos 3 elementos para luego efectuar atomizaciones a lo largo de la línea del ducto de secado, que es donde se encuentra instalado estratégicamente el sistema PROJET. Algunas propiedades y características que tiene la resina UF son:

<i>RESINA UREA – FORMALDEHÍDO</i>	
<i>PRINCIPALES CUALIDADES QUE ENTREGA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<i>Aglutinante</i>	<i>Excelente resina debido a su efecto aglutinador con las fibras, perfecto para obtener un tablero de buena densidad y resistencia.</i>
<i>Curado</i>	<i>Proceso de curado rápido y eficiente (36 horas), permitiendo constante producción de tableros.</i>
<i>Durabilidad</i>	<i>El aporte de resina que entrega a las fibras se traduce en una buena rigidez del tablero, pero resiste poca humedad por tiempos prolongados.</i>
<i>Costos</i>	<i>Es una de las resinas más usadas y económicas en la industria, buena relación precio/calidad entregada a las fibras.</i>
<i>Emisiones</i>	<i>El punto débil es que genera emisiones de gas nocivas para la salud al exponerse de forma directa y prolongada.</i>

Tabla 2. Principales cualidades de Resina (UF) Urea-Formaldehído

(Riquelme A., Cualidades resina UF, 2024)

RESINA UREA – FORMALDEHÍDO	
PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS	DESCRIPCIÓN
Densidad	Fluctúa entre rangos de 1,55 (g/cm ³) a 1,65 (g/cm ³).
Viscosidad	Fluctúa entre rangos de 200 (cps) a 250 (cps) centipoise.
PH	Fluctúa entre rangos de 6 a 8.

Tabla 3. Principales propiedades físicas-mecánicas de resina (UF) Urea-Formaldehído

(Riquelme A., Propiedades físicas y mecánicas resina UF, 2024)

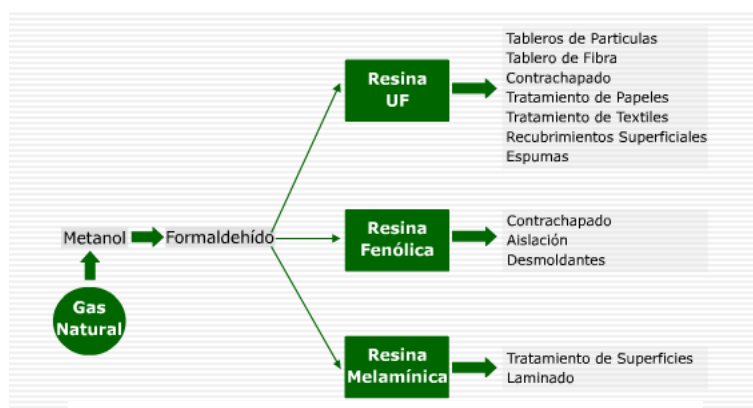


Figura 36. Usos de resina UF (urea-formaldehído)

(Projector Macromedia, Figura de usos de resina UF, 2024)

El proceso de inyección de aditivos químicos a fibra consta con los siguientes subprocesos, unidades y/o componentes principales:

- Sistema de dosificación de resina IMAL
- Inyectores de resina
- Actuadores Elero
- Sensores de flujo o flujómetros
- Actuador neumático con válvula de bola de tres vías
- Sistema de control y fuerza (PLC)
- Bomba centrifuga principal
- Flexibles de agua/resina y vapor

Sistema de dosificación de resina IMAL

El sistema de dosificación IMAL es un sistema automatizado centrado en mezclar y dosificar aditivos químicos, en este caso específico para preparar la resina UF (urea-formaldehído), cuenta con un estanque de almacenamiento de tránsito, donde acumula la resina UF, para entregarlo a 2 bombas dosificadoras de tornillo excéntrico equipadas cada una de ellas con variadores de frecuencia para permitir un control variable del caudal. Estas bombas dosificadoras tienen una capacidad de flujo de hasta 200 (l/min) para así lograr trasladar la resina ya preparada y mezclada al sistema PROJET. Además, este sistema cuenta con múltiples sensores de caudal electromagnético (flujómetros) para llevar un monitoreo constante del sistema de dosificación resina.

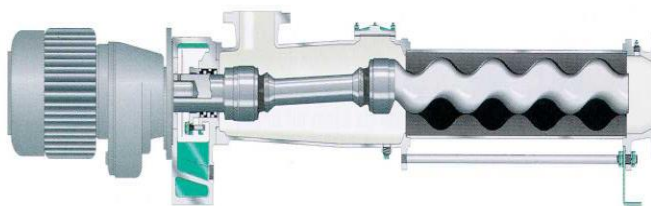


Figura 37. *Bomba dosificadora de tornillo excéntrico*

(Projector Macromedia, Figura de bomba dosificadora de tornillo excéntrico, 2024)

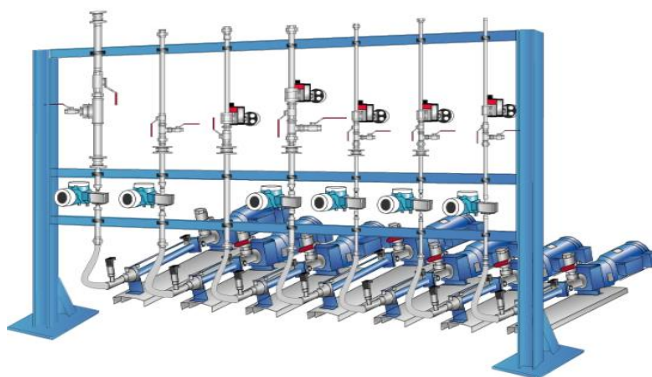


Figura 38. *Sistema de mezcla de aditivos (cocina)*

(Projector Macromedia, Figura de sistema de mezcla de aditivos, 2024)



Figura 39. *Sistema de dosificación de resina IMAL*

(Riquelme A., Figura de sistema de dosificación de resina IMAL, 2024)

inyector de resina

Equipo mecánico esencial del sistema de inyección PROJET. Tiene por función inyectar atomizaciones o pulverizaciones de resina UF a ducto de línea de secado MDF (Medium Density Fiber Board). El sistema PROJET cuenta con 20 módulos o líneas de inyección, por lo tanto, existen la misma cantidad de inyectoros posicionados estratégicamente de forma helicoidal en línea de secado, pero en la actualidad están habilitados solo 18 módulos, estos 2 deshabilitados por problemas eléctricos de control. Los inyectoros reciben aportes continuos de agua, desde línea de agua (planta de efluentes), vapor desde planta de generación de energía y resina desde el sistema de dosificación IMAL, todo a una presión de trabajo entre un rango de 10-13 (bar) donde el inyector en su cámara interna de presión, es capaz de mezclar estos aportes e impulsarlos a través de un movimiento del embolo que se origina gracias al actuador elero, que permite la apertura de la boquilla que se encarga de entregar la pulverización o atomización. Cada inyector tiene una capacidad máxima de inyección de 35 (l/min), en un tiempo de accionamiento de 15 (s) segundos. Estos inyectoros cuentan con varias piezas de desgastes como boquillas, cabezales, orings, vástagos, sellos de cobre, empaquetaduras de grafito, prensa estopa entre otros, esto debido a la presión que se ejerce para suministrar la resina, por lo cual se debe realizar un mantenimiento periódico. Están ubicados estratégicamente de forma helicoidal en línea de secado para aportar la mayor cantidad de resina a las fibras de madera de forma homogénea que pasan por el ducto

a una velocidad de 160 (m/s), 380 (km/h) aproximadamente, así le propina la mayor cantidad de propiedades para que en procesos posteriores se realice una correcta compactación de los tableros dimensionados y se realice el proceso de curado correctamente.

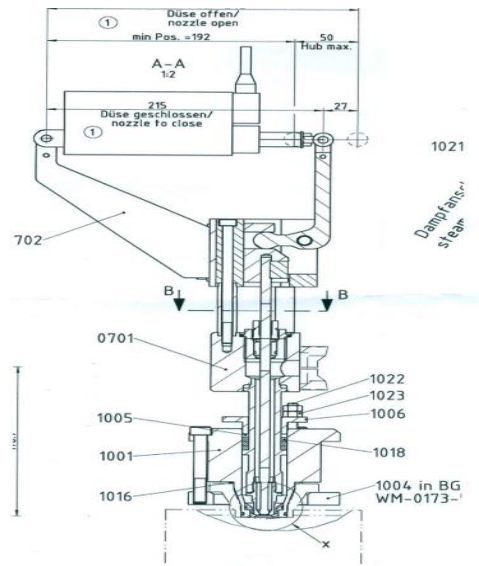


Figura 40. *Plano en corte de inyector de resina*
(Planta Tableros MDF, Figura de plano en corte de inyector, 2024)



Figura 41. *Inyector de resina*
(Riquelme A., Figura de inyector de resina, 2024)

Actuador Elero

Equipo electromecánico de control, que trabaja y está posicionado conjuntamente a cada uno de los inyectores de resina. Su función es convertir una señal de control, en este caso eléctrica, generada por el PLC del sistema PROJET, en un movimiento físico, en este caso un vástago que al accionarse permite la apertura del embolo del inyector para comenzar la descarga de resina UF hacia las fibras que están pasando por la línea de secado. Este accionamiento esta previamente programado de tal manera que permita actuar a los inyectores disponibles de forma intermitente es decir que no todos los inyectores realicen la inyección al mismo tiempo, sino más bien, se selecciona una cantidad de ellos para que lo haga estratégicamente para aportar la mayor cantidad de resina UF, además le favorece que los inyectores se encuentran dispuestos de forma helicoidal a lo largo de la línea de secado así se cubre una mayor área. El actuador elero posee características técnicas como versión elero Junior 1E-VA, velocidad de accionamiento de 5 (mm/s), fuerza de accionamiento de 550 (N), un recorrido máximo de 50 (mm) del vástago, potencia de trabajo de 20 (W), voltaje de trabajo 24 (V) corriente continua e índice de protección IP 67.



Figura 42. Actuador Elero

(Riquelme A., Figura de actuador elero, 2024)

Flujómetro Electromagnético

Dispositivo mecánico de monitoreo que permite medir y registrar el flujo que pasa a través de un punto específico de interés. Este flujómetro es del tipo electromagnético, que posee una bobina electromagnética, que genera un campo magnético que capturan la fuerza electromotriz (ley de Faraday), debido a esto se puede medir el caudal. Se

encuentra posicionado estratégicamente justo después del actuar neumático de válvula de bol de 3 vías. Tiene como función llevar a cabo un correcto control del proceso a través de los registros de flujos, de igual forma permite localizar e identificar fugas. A este dispositivo no se le realizan mantenciones tan recurrentemente, ya que rara vez presenta fallos o problemas, solo se realiza un levantamiento de datos, limpieza general y fabricación de sello de teflón o empaquetadura. En la parte posterior tiene una pantalla electrónica que permite visualizar y controlar fácilmente el flujo de resina. El flujómetro posee características técnicas como, marca Krohne, modelo o versión OPTIFLUX 4000 F, 20 (mm) de diámetro, presión máxima de trabajo 40 (bar), temperatura máxima de trabajo 180 (°C) e índice de protección IP 66.



Figura 43. Flujómetro

(Riquelme A., Figura de flujómetro, 2024)



Figura 44. Panel de control de Flujómetro

(Riquelme A., Figura de panel de control de flujómetro, 2024)

Actuador neumático con válvula de bola de 3 vías tipo L

Unidad de accionamiento, que tiene como función primordial realizar el control, regulación y entrega de flujo de resina UF y agua a través de una bola de la válvula de 3 vías, que es accionada neumáticamente, actúa con señales on/off o abierto/cerrado de forma automatizada para permitir el paso de la resina UF ya mezclada con el agua. El actuador posee características técnicas como, marca END-ARMATUREN (EA), accionamiento E-E, temperatura máxima de trabajo 80 (°C), esfuerzo de torsión 37/62 (Nm), presión de trabajo máxima 16 (bar) y voltaje de 24 (v). Estos equipos están programados de tal forma de trabajar por intervalos de tiempo y en grupos seleccionados según previa programación o requerimiento, permite un giro de la bola para permitir un paso de flujo en L.



Figura 45. *Actuador neumático EA*
(Riquelme A., Figura de actuador neumático de válvula, 2024)



Figura 46. *Válvula de bola de 3 vías tipo L*
(Riquelme A., Figura de válvula de bola de 3 vías tipo L, 2024)

Sistema de control y fuerza (PLC)

Unidad eléctrica de control de uso industrial, permite energizar componentes del sistema de inyección de resina PROJET para permitir el funcionamiento completo del sistema y sensores asociados. Su función primordial es permitir programar, automatizar y controlar dispositivos del sistema PROJET, principalmente actuador elero, actuador neumático de válvula de bola de 3 vías y sensores del sistema. Por lo tanto, es muy importante para habilitar y accionar estos componentes previos que permiten el correcto funcionamiento de cada uno de los inyectores de resina UF.

El tablero PLC posee características técnicas como montaje eléctrico por parte de firma Dieffenbacher, pantalla HMI Allen Bradley panelview plus 1000 que permite controlar rangos de trabajo del sistema ya que tiene precargado y habilitado el software PROJET de la empresa Dieffenbacher, para controlar el proceso de ser necesario una modificación. De igual forma posee un sistema de seguridad en caso de accidentes, fallos o emergencias. Otras características técnicas de este PLC son, CPU siemens, interfaz gráfica HMI, frecuencia 50 (Hz), voltaje 380 (V), posee un máximo de 30 entradas y 30 salidas (E/S) (contactores).



Figura 47. Controlador Lógico Programable
(Riquelme A., Figura de PLC, 2024)

Bomba centrífuga (sistema de agua)

Equipo mecánico accionado por un motor eléctrico de 1700 (RPM), se encarga de suministrar agua desde sector de planta de efluentes hacia el sistema PROJET. Su funcionamiento se basa en el principio de la fuerza centrífuga, la cual es generada por un rotor con aspas o impulsor giratorio, el cual permite el traslado del fluido. Continuamente a esta bomba centrífuga existe una válvula de bola de paso con su

actuador, que permite controlar el paso de fluido en caso de una emergencia, existe como un sistema de seguridad.

Las principales características técnicas que posee esta bomba centrífuga son, caudal máximo (Q) 250 (l/min), voltaje 220 (v), frecuencia 50 (Hz) y capacidad de giro 2600 (RPM).

Este fluido que se utiliza en el sistema PROJET, es primordial ya que permite mezclarse junto con la resina UF en cada una de las válvulas de bola de tres vías, para entregar el aditivo final a cada inyector y que realice la atomización a la línea de secado.



Figura 48. *Bomba centrífuga*

(Riquelme A., Figura de bomba centrífuga, 2024)

Flexibles de vapor y agua/resina

En el sistema PROJET existen dos grupos de ductos metálicos de acero inoxidable flexibles semirrígidos, uno grupo de ellos corresponde a la línea de vapor, que consta con múltiples ductos metálicos flexibles semirrígido, para alimentar de vapor a cada inyector de resina UF. Este vapor suministrado a través de los flexibles proviene desde la línea de vapor saturado, formado en planta de generación de energía y suministrado al sistema PROJET. Este vapor se traslada mediante este ducto metálico de acero inoxidable flexible trenzado y prensado de un largo de 1400 (mm) y diámetro interior de 1" 1/2 con tuercas americanas de unión en ambos lados del flexible, uno desde la zona de alimentación de vapor y el otro que se conecta a la boquilla de vapor del inyector. La presión de vapor en los flexibles fluctúa entre 10-13 (bar) a temperatura de 70 (°C) aproximadamente.



Figura 49. *Flexible metálico semirrígido de vapor*
(Riquelme A., Figura de flexibles metálicos de vapor, 2024)

El otro grupo de ductos metálicos flexibles semirrígidos prensados, corresponde a los que transportan la resina UF previamente ya mezclada con agua en la válvula de bola de tres vías gracias a su actuador, luego permite pasar el flujo de resina desde el flujómetro hasta el inyector de resina. Estos ductos flexibles se caracterizan por tener desde el lado que conecta al flujómetro un flange deslizante y del otro lado que va al inyector permite conectar mediante adaptación a la cámara de mezcla del inyector, este flexible posee un diámetro interior de 20 (mm) y largo de 1800 (mm). Es imprescindible revisarlo y limpiarlo cada vez que se realiza una detención o mantención ya que a veces la resina tiende a solidificarse cuando el sistema queda fuera de servicio por tiempos prolongados y puede obstruir el paso cuando se reanude la operación del equipo.



Figura 50. *Flexible metálico semirrígido de agua/resina*
(Riquelme A., Figura de flexibles agua/resina UF, 2024)

SECADO DE FIBRA MDF

El propósito principal del proceso de secado es evaporar la mayor parte de la humedad de la fibra, con el fin de obtener un contenido de humedad adecuado antes de comenzar el proceso de formación de manto para ir dando forma a la fabricación de tableros. Esta evaporación, requiere una masa de calor considerable, la cual se forma con los gases provenientes desde la planta de generación de energía (planta térmica) y adicionalmente el aire ambiente. La fibra y el vapor generado en el proceso de desfibrado y planta térmica respectivamente, son inyectados al ducto de secado. Durante el recorrido por el ducto de secado se realiza la evaporación de agua presente en la fibra, esto debido a el agua necesaria para la inyección de resina UF en el sistema PROJET, hasta que el contenido de humedad sea el óptimo, un 8%. Esto se logra utilizando una mezcla de gases calientes a 400 (°C) y aire ambiente, lo cual, se realiza en el ciclón de mezclado de secado. El ajuste de la temperatura requerido para el secado es controlado automáticamente por la unidad de PLC. Luego, la fibra es descargada a una cinta a través de válvulas rotativas (E-125), ubicadas ambas en la parte inferior de los ciclones de secado. En esta cinta, se realiza el control de humedad en forma continua, actuando sobre el control ante variaciones respecto al valor programado. Las pérdidas de calor desde el proceso de secado, debido a la convección y radiación, son pequeñas y sólo suman un 1-2% del calor suministrado por el aire caliente que entra al secador.

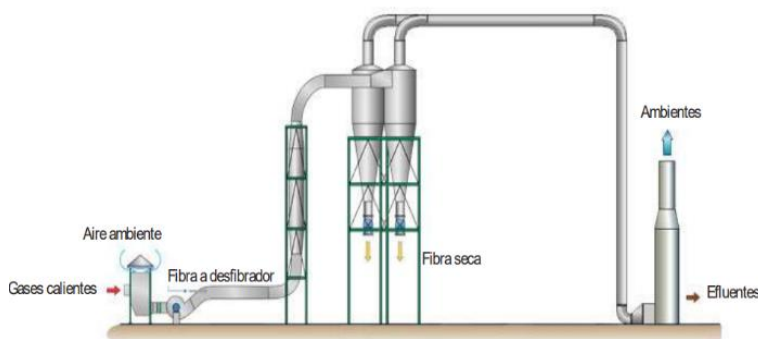


Figura 51. *Proceso de secado de fibra de madera*
(Projector Macromedia, Figura de proceso de secado de fibra, 2024)

LÍNEA DE FORMACIÓN DE MANTO DE TABLEROS MDF

Luego del secado de la fibra y su almacenamiento en los ciclones, se comienza a transportar mediante cinta de transporte, hacia la estación formadora de láminas Pendistor MDF, suspendidas las fibras por un flujo de aire turbulento son distribuidas en la zona superior de un cabezal tipo zigzags. A la salida de este se le inyecta aire presurizado con la finalidad de poder regular o variar el perfil de distribución de fibra. La formadora cuenta además con paredes laterales móviles en un determinado ángulo, con el propósito de poder cambiar la caída final y dirección de la fibra al formar el manto. Una vez distribuida la fibra, esta cae como efecto cortina sobre la malla de formación del transporte, bajo la caja formadora, la cual se mueve a la misma velocidad que todos los transportes posteriores. Bajo la caja formadora existen dos cajas de vacío separadas, que cumplen la misión de sacar el aire del proceso de transporte y de impulsión de la fibra, succionado por dos ventiladores, realizando así también una mediana compactación del manto sobre la malla formadora.

Para el control de cantidad y distribución de fibra, se cuenta con tres sensores de posición, de esta manera, la posición de estos sensores comandara la alimentación de la fibra al proceso.

A la salida de la formadora, se encuentra una estructura que contiene el rasurador de manto o scalper, cuya función es emparejar el colchón de fibra. Tiene la particularidad de que su altura se puede variar, en función a la fabricación deseada. Acoplada a esta estructura, se encuentra el medidor de humedad de la línea, para ir controlando variables en el proceso de formación. Después de controlar la humedad, se encuentra la balanza que registra el peso del manto en formación mediante un controlador enlazado con la humedad y altura del rasurador, elementos con los cuales se va a controlar la densidad total del tablero a producir.

Rasurado y emparejado el manto, chequeada la humedad, homogeneizada la densidad y el peso, el manto ingresa al pre-compresor, que cumple la función de compactar el manto en frío, eliminando el aire y disminuyendo su espesor, así facilita el proceso final de prensado en caliente. A la salida de la unidad de precompresión, el manto ingresa a un transporte, donde en sus orillas están ubicadas dos sierras devastadoras de bordes ajustables lateralmente para reducir imperfecciones. La fibra cortada es recirculada al almacenamiento de fibra para su reutilización en el proceso. Este transporte además cuenta con un medidor de densidad tipo isótopo, para la medición transversal del manto.

Culminando el proceso de formación de manto, se pasa la formación al último transporte donde se encuentra un calefactor de alta frecuencia, que cumple la función de dar un aumento de temperatura previa al manto antes de ingresar a la prensa Kusters.

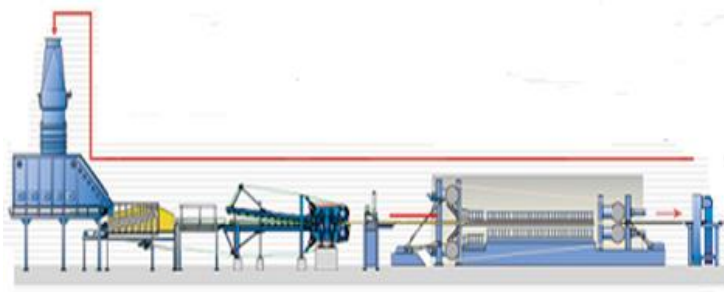


Figura 52. *Proceso de formación de manto*

(Projector Macromedia, Figura de proceso de formación de manto, 2024)



Figura 53. *Manto en formación*

(Riquelme A., Figura de manto de fibra en formación, 2024)

PROCESO DE PRENSADO DE MANTO FORMADO MDF

El manto generado en el proceso de formación ingresa a la prensa continua Kusters, la cual define en gran medida la calidad final del tablero, ya que controla variables como espesor, densidad y propiedades físico-mecánicas. Estas variables se inspeccionan y se llevan a cabo mediante la acción de la presión y temperatura en combinación con la velocidad de acción sobre el manto, permitiendo la reacción fisicoquímica de la resina UF, lo que se traducirá en la resistencia, estabilidad de las propiedades y características técnicas requeridas para el tablero a producir. El aceite térmico Shell Oil B juega un rol crucial en la compactación y prensado, este se calienta gracias al vapor saturado proveniente de la planta de generación de energía y es enviado a la prensa a una temperatura entre 265-275 (°C), el que es suministrado a ambas placas calefactoras de

la prensa tanto superior e inferior y su objetivo es generar la reacción química de la resina, que es el proceso de curado, donde se comienza a polimerizar la resina UF entre las fibras al compactar, para lograr la correcta adhesión del tablero.

El proceso de prensado en la prensa continua Kusters, consta de 4 fases, las cuales son:

- Fase de compresión
- Fase de mantenimiento y abertura
- Fase de calentamiento
- Fase de cierre y calibrado

Comúnmente uno de los tableros más fabricados es el tablero MDF (Medium Density Fiber Board) de 16 (mm) de espesor, al realizar el proceso específico de prensado se alcanzan presiones superficiales específicas máximas de 35 (Kp/mm²), generando así una densidad de las caras del tablero producido entre 950-1100 (kg/m³).

Cada una de las variables controladas durante y luego del proceso de prensado depende del espesor y dimensiones del tablero que se desea elaborar, pero el principio de prensado en prensa Kusters es el mismo para la fabricación de todos los tableros MDF.

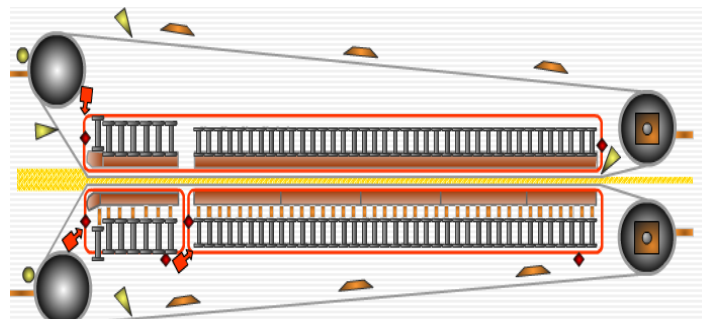


Figura 54. Prensa continua doble banda Kusters

(Projector Macromedia, Figura de prensa continua doble banda Kusters, 2024)

PROCESO DE SALIDA DE PRENSA MDF

Al salir de la prensa el tablero estando a alta temperatura, cercano a 90-95 (°C), se comienza a dimensionar en formatos maestros. Esto se realiza mediante un carro de sierras de tipo volantes para corte transversal, luego se extrae el aserrín generado por el corte y se envía al silo de almacenamiento de aserrín. Después de la realización del

corte, el tablero enfila a un transporte mediante rodillos donde pasa a una estación de control de peso o balanza.



Figura 55. *Proceso de corte con sierras volantes*
(Riquelme A., Figura de proceso de corte con sierras volantes, 2024)

LÍNEA DE TERMINACIÓN MDF

Corresponde a una nave apartada, ubicada de forma contigua a la nave de formación MDF (Medium Density Fiber Board), donde básicamente se realizan controles de variables, calidad y acabado a cada uno de los tableros previamente fabricados.

El proceso de terminación MDF (Medium Density Fiber Board) consta con los siguientes subprocesos, unidades y/o componentes principales:

- Rueda enfriadora
- Apiladores de tableros
- Lijadora
- Formateadora
- Empaque y despacho

Rueda enfriadora

Es una rueda giratoria, capaz de realizar giros en 360 grados, accionada por un motor eléctrico, en conjunto con sistema hidráulico. Posee una capacidad de apilar 50 tableros, entre sus bandejas de perfiles cuadrados. El tiempo de permanencia en la rueda enfriadora depende de la velocidad de la línea de salida de prensa y su relación con el espesor del tablero que se está fabricando.

Su principal función es estabilizar la temperatura de los tableros que llegan desde salida de prensa a temperaturas entre 90-95 (°C) y se busca bajar esta temperatura bruscamente a los 60 (°C), lográndose este cambio solo con la temperatura ambiente, el sistema de giro y la velocidad de la rueda enfriadora, además del tiempo de permanencia que es variable, según la producción.

De igual forma en esta rueda enfriadora busca evitar los defectos superficiales y el deterioro de las propiedades físico-mecánicas que puede ocurrir por un pre-curado al estar en excesivo reposo.



Figura 56. *Rueda enfriadora*

(Riquelme A., Figura de rueda enfriadora, 2024)

Apiladores

Corresponde a una estación de almacenamiento que se encarga de apilar y acumular tableros de las mismas características (espesor y dimensiones) provenientes desde la rueda enfriadora. Cuenta con un sistema neumático de transporte con FRL y una estructura metálica para permitir carga de grúas. Al acumular cierta cantidad de tableros

se forma un paquete. Los paquetes formados tienen un peso límite y son trasladados a bodega intermedia por grúas horquillas.

Cada paquete se identifica de acuerdo con:

- Tipo de tablero
- Dimensiones
- Fecha de elaboración
- Numero de orden de producción

Ya en bodega intermedia se dejan almacenados los paquetes de forma ordenada, durante 36 horas hasta 48 horas, esto debido al tipo de resina UF que se utilizó y que requiere un reposo mínimo de 36 horas para su curado total para cumplir a cabalidad con sus propiedades físicas-mecánicas.



Figura 57. *Apiladores de tableros*

(Riquelme A., Figura de apiladores de tableros, 2024)

Lijadora

Una vez cumplido el periodo de reposo y curado de la resina UF de los tableros en bodega intermedia de almacenamiento. Se trasladan mediante grúa horquilla y se posicionan en transporte de línea de lijado. Este proceso comienza descomponiendo el paquete donde se suministra uno a uno los tableros a la maquina calibradora, primeramente, para realizar una calibración y ajuste de desbaste de tableros, para reducir espesor y evitar sobre espesores, posee 4 cabezales (K1 y K2) que permiten el desbaste, esto es para reducir previamente el espesor antes de entrar a la lijadora. Continuamente cada uno de los tableros siguen por la línea de transporte, llegando a la lijadora. Este equipo tiene

como función realizar un lijado superficial para controlar el espesor final que se desea alcanzar en la fabricación del tablero y entregar un acabado de calidad superficial en las caras. Esta lijadora es del tipo banda ancha, equipada con patines de lijado oscilante, donde al pasar el tablero, existen dos bandas de lija que son empujadas por patines para realizar el proceso de lijado. Además, la lijadora cuenta con una unidad de extracción de polvos de lijado, está equipado con dos conjuntos de filtros y dos ventiladores, más un soplador para el transporte neumático del polvo de lijado al silo de almacenamiento de polvo, que posteriormente se reutiliza como combustible en planta de generación de energía (planta térmica). La forma de desbaste tiene 3 secuencias distintas independiente del espesor del tablero, estas secuencias son:

- Lijado grano grueso: 60-80, se realiza un 80% de desbaste del sobre espesor
- Lijado grano medio: 100-120, se realiza un 15% de desbaste del sobre espesor
- Lijado grado fino: 150-180, se realiza un 5% de desbaste del sobre espesor

Con estas 3 secuencias de desbaste o lijado, se elimina el sobre espesor del tablero, siendo el lijado grado fino el que es capaz de lograr el acabado final.

Algunos de los problemas que ocurren en el proceso de lijado son:

- Con el lijado grueso, se provoca un retemblado generando marcas de incrustación en el tablero
- Saltos de lija, cuando la banda de lijado gira a más velocidad de lo que se traslada el tablero, no se realiza un desbaste uniforme
- Al existir un mal estado parcial de la banda de lijado o baja calidad, se generan marcas y desbaste no uniformes en el tablero

Realizado el proceso de lijado, a la salida de lijado, se encuentra un sensor de espesores, que se encarga de medir el espesor de cada tablero en 10 puntos estratégicos, esto permite monitorear la calidad del proceso de lijado y validar su espesor final. Prosiguiendo el tablero en la línea de transporte de lijado, llega a una estación de apiladores donde se controla la calidad final del producto y se vuelven a formar paquetes que se clasifican y etiquetan según su material de fabricación, dimensiones, espesor y cantidad de tableros agrupados.



Figura 58. *Lijadora de tableros*

(Riquelme A., Figura de lijadora de tableros, 2024)

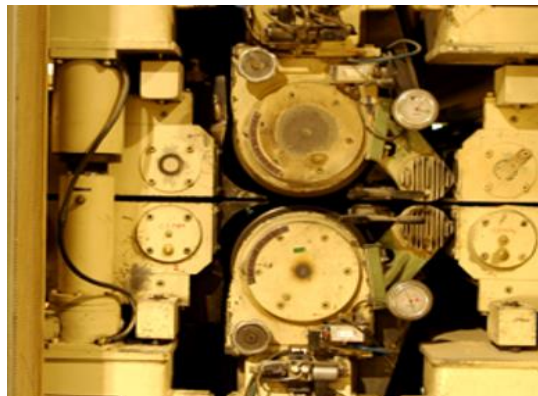


Figura 59. *Lijadora de doble banda con acción por patines automáticos*

(Riquelme A., Figura de lijadora doble banda con patines, 2024)



Figura 60. *Paquete lijado en apilador*

(Riquelme A., Figura de paquete de tableros lijado en apilador, 2024)

Formateado

Luego de que los tableros pasan por el proceso de lijado, enfilan hacia el proceso de formateado, compuesto por una unidad llamada formateadora, la cual incluye diversos equipos neumáticos de corte, que se acciona automáticamente mediante previas instrucciones programadas en PLC con respectivos valores de control. Tiene como función realizar cortes de excesos de materia para realizar el dimensionado de acuerdo con las órdenes de producción y secuencia de trabajo. Para lograr esto los paquetes de tableros son alimentados al transporte de formateado desde los apiladores de control de calidad, los cuales avanzan hacia la mesa de elevación, donde se separa el paquete (book) y son llevados por el empujador a la mesa de corte, donde se configuran parámetros límites de corte o despunte ya sea longitudinal como transversal, los carros de corte se desplazan mediante rodamientos lineales. El aserrín de las sierras de formateado se transporta neumáticamente al silo de aserrín. Se debe tener cuidado con el aserrín que contiene un PH muy alto, ya que provoca un deterioro, aumentando la oxidación.



Figura 61. *Unidad formateadora de tableros*

(Riquelme A., Figura de formateadora de tableros, 2024)



Figura 62. *Mesa de corte longitudinal de formateadora*
(Riquelme A., Figura de mesa para corte longitudinal, 2024)

Empaque y despacho

Corresponde a la etapa final del proceso de producción de tableros MDF (Medium Density Fiber Board), donde luego del proceso de formateado continúan cada uno de los tableros aprobados en su control de calidad hasta el final de la línea de terminación MDF (Medium Density Fiber Board). Llegan a una estación de apilado donde se acumulan y forma un paquete de tableros según sus características de fabricación. Seguidamente el paquete se enhuincha para evitar deslizamientos bruscos de los tableros. Para mitigar un poco la humedad que puede sufrir el paquete tanto en la zona de almacenamiento y clasificación como en el despacho a clientes se implementa un aislante plástico, fino y transparente para evitar que la humedad penetre, además sirve como protección de rayaduras, el polvo y deformaciones de los cantos, producto del almacenamiento junto al transporte. Prosigue la instalación del etiquetado de identificación técnica, que sirve para realizar control y trazabilidad. Finalmente se realiza toda la documentación, específicamente las facturas para el despacho de los paquetes embalados a sus respectivos clientes, que son a nivel nacional como internacional y el método de transporte al salir de la planta es terrestre, específicamente camiones de carga con rampla.



Figura 63. *Paquete MDF para embalar*

(Riquelme A., Figura de paquete MDF a embalar, 2024)



Figura 64. *Paquete MDF listo para despacho*

(Riquelme A., Figura de paquete MDF listo para despacho, 2024)

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, en este capítulo se planteará la problemática que se detectó. Cabe señalar que la problemática se pudo evidenciar ya que se logró participar en múltiples mantenciones y se abordó desde varias perspectivas con personal del área mecánica de planta. Se aportará la mayor cantidad de información del surgimiento del problema detectado para posteriormente elaborar una óptima propuesta de plan de mantenimiento preventivo.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La línea MDF (Medium Density Fiber Board), es una línea de producción de Tableros dimensionados, donde usa como principal materia prima el pino radiata, en diversos estados y formas. Esta es una extensa cadena productiva que parte desde el almacenamiento y tratamiento de materia prima a su llegada a planta hasta la línea de terminación donde se clasifica, certifica calidad de tableros, empaqueta y se despacha a clientes. Precisamente en esta línea de producción MDF se encuentra el sistema de inyección de resina PROJET, específicamente en el primer piso de Desfibrado. Este sistema se encuentra en uno de los procesos iniciales de conversión de astillas a fibra de madera en la línea de producción. Su correcto funcionamiento reviste una gran importancia para todos los procesos posteriores ya que su función de entregar aditivos a las fibras que pasan por la línea de secado MDF (Medium Density Fiber Board) es de alta criticidad debido a que influye en las características físicas, mecánicas y variables a controlar al realizarse la compactación en caliente con aceite térmico en prensa Kusters, todo ello impacta en la calidad del producto.

Tras participar en múltiples mantenciones en planta Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío, en diversas líneas productivas y áreas mecánicas, llego un periodo en donde se comenzó a trabajar en la mantención del sistema de inyección de aditivos PROJET. Donde en un comienzo se realizaban las mantenciones mecánicas, siendo la mayor parte del tiempo correctivas, es decir los activos presentaban perjuicios y así mismo el sistema de inyección. Esto se realizó con periodicidad mensual por lo menos durante 6 meses.

A comienzos del segundo trimestre de este año se realizó una exhaustiva inspección junto a personal del área de mantenimiento de la empresa, tanto mecánicos de turno y planificadores, que indicaban que el sistema revestía alta criticidad, y que estaba bajando con creces su eficiencia, lo que se evidenciaba en sala de control, que al paso de unos días de las mantenciones se indicaba en software de Dieffenbacher fallas en las

líneas de inyección. En parte este suceso se explicó por la adquisición de la empresa de repuestos de desgaste de una menor calidad durante un periodo, ya que no se obtuvieron desde la firma Dieffenbacher, pero aun así los problemas de eficiencia persistían en el tiempo. Por ello se busca analizar los motivos de fallas en líneas de inyección de resina, que aquejan directamente el aporte de aditivos a las fibras, afectando la calidad del proceso y el porvenir de otros. A través de inspecciones se halló variación de valores de vapor, agua y resina, discordantes entre toma de valores en sala de control e instalaciones de PROJET, además de falencia en instalaciones como fugas y mala instalación de algunos componentes.

Debido a ello se opta por elaborar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para el sistema de inyección de resina denominado por el fabricante alemán como PROJET en planta tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío.

El sistema de inyección PROJET funciona las 24 horas del día, dando continuidad al proceso productivo, se encuentra en funcionamiento la mayor parte del año, solo deja de funcionar cuando hay mantenciones de rigor ya programadas o cuando hay una detención imprevista o de emergencia. Esto reviste gran precaución y cuidado ya que se puede visualizar que se carece de una visión de mantenimiento preventiva con el equipo, incluso llegando a realizarse acciones de mantenimiento correctivo la mayor parte del tiempo o cuando se acerca al rango inferior de calidad aceptable. Además, no existía un plan de mantenimiento para monitorear el sistema PROJET. Esto conlleva que a través del tiempo se produzcan perjuicios económicos notorios, quiebres de stock de repuestos, paradas imprevistas, aumento y descontrol de tiempos muertos de producción, incluso daños graves o pérdida de componentes del sistema PROJET, baja o deficiente calidad del producto e inclusive se pueden ocasionar accidentes que pongan en peligro a trabajadores del área o perjuicio de las instalaciones o activos de la empresa.

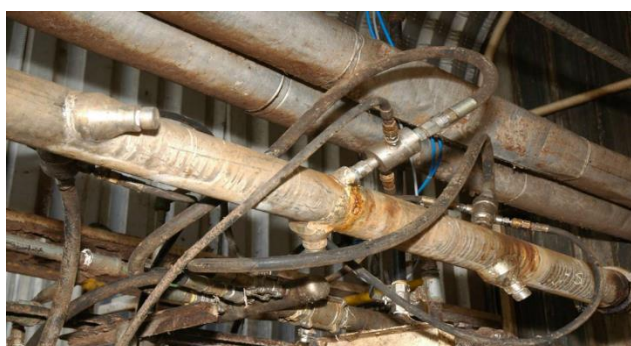


Figura 65. *Sistema de inyeccion previo a sistema PROJET*
(Tableros MDF, Figura de válvulas de inyeccion antiguas, 2024)

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Buscando soluciones luego de verter los antecedentes previos, esta memoria busca que a partir de conocimientos técnicos, principalmente con enfoque en el área mecánica y mantenimiento industrial, elaborar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para sistema de inyección de resina PROJET, en planta Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío, centrado en aumentar confiabilidad y eficiencia del sistema, teniendo como núcleo esencial, solucionar la problemática encontrada en el sistema PROJET, que se localizó en terreno a través de la participación en mantenciones y posterior inspección junto a mecánico de planta a cargo del área, lo que dejó entre ver varias falencias de planes de acción para el correcto y eficiente funcionamiento del sistema PROJET, considerando su importancia.

La propuesta de plan de mantenimiento preventivo tiene como cuerpo principal, realizar levantamiento de componentes asociados al sistema y explicar principio de funcionamiento, continuamente, realizar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad que contenga análisis de criticidad con sus factores y categorización respectiva, cuadro de jerarquización para identificar los equipos más críticos, posteriormente realizar análisis de modo y efecto de falla de equipos, para terminar el plan con tablas de acción e intervención de equipos. Finalmente se contempla realizar un estudio de costos asociado a la posible implementación de la propuesta al sistema de inyección considerando costos de horas hombre de trabajo, costos de repuestos e insumos y externalización de servicio de mantenimiento. La propuesta debe ser conocida por trabajadores de planta o contratista, así se podrá tener un enlace para poder realizar las intervenciones al equipo correctamente. En donde desde próximas mantenciones primen las acciones preventivas de mantenimiento para el sistema PROJET, además de las propuestas de variaciones de algunos componentes.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los comienzos de la empresa, particularmente luego de la modificación y puesta en marcha de la línea MDF (Medium Density Fiber Board) en el año 2007, el sistema de inyección era un poco arcaico e ineficiente ya que era un sistema semiautomático que constaba básicamente con recipientes acumuladores de gran envergadura que a través de una bomba hidráulica bombeaba resina y aditivos hacia válvulas las cuales inyectaban resina a línea de secado MDF (Medium Density Fiber Board), incluso con ineficientes medidas de seguridad. Ya en la posteridad se adquirió al fabricante Dieffenbacher el sistema PROJET cercano al final del año 2013, que es una obra de ingeniería alemana basada en un conjunto de componentes con el fin de realizar atomizaciones de resina de forma automatizada, aunque fue un considerable cambio positivo, a través de los años desde su puesta en marcha el sistema ha ido presentando problemas y fallos, repercutiendo en la eficiencia de este y el proceso de inyección de resina UF.

La realización de esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo responde a las recurrentes fallas de diversos componentes del sistema PROJET en el último tiempo particularmente. Lo que influye directamente en el rendimiento de los inyectores de resina, así se ve mermado la eficiencia del conjunto, afectando las propiedades térmicas, físicas y mecánicas de las fibras de madera, entre otras variables, perturbando procesos posteriores, además perjudicando la calidad del producto produciéndose pérdidas de producción o derivando en clasificaciones de menor rango, reduciéndose todo aquello en pérdidas económicas efectivas o menores ingresos para la empresa. Conjuntamente se toma acción y se decide desarrollar esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo, ya que a la actualidad no se contaba con aquello para el sistema PROJET, este fue uno de los motivos de justificación angulares de la realización de este proyecto ya que en particular no existía una visión preventiva, sino más bien correctiva, además considerando fallas continuas de componentes o equipos, problemas de control de variables y monitoreo desde sala de control, líneas de inyección fuera de servicio, afectando todo aquello en la eficiencia y el correcto funcionamiento.

Este sistema de inyección reviste una criticidad importante, ya que solo se actuaba cuando un número importante de las 20 líneas de inyección disponibles dejaban de funcionar o cuando la eficiencia del equipo era baja o cercana al límite inferior.

Así se identifica que se carece de una visión de mantenimiento preventivo por parte de la empresa para salvaguardar sus activos que revisten alta criticidad, por todo lo

anteriormente dicho se propone a mecánicos del área de Desfibrado MDF (Medium Density Fiber Board) la realización de una propuesta de plan de mantenimiento preventivo basado en la criticidad y confiabilidad del sistema.

BENEFICIOS DEL PROYECTO

La propuesta de plan de mantenimiento preventivo que se eligió tiene como eje mejorar de manera significativa su eficiencia y confiabilidad en el proceso de inyección de resina a las fibras de madera MDF (Medium Density Fiber Board), que es el objetivo principal del sistema PROJET. Por ende, los beneficios potenciales de esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo son:

- Mejor planificación de detenciones programadas para reducir y evitar “tiempos muertos” por detenciones de emergencia o imprevistas, para así mejorar tiempos de producción (eficiencia)
- Permitir un óptimo monitoreo y control del equipo junto a sus parámetros de funcionamiento, para cumplir estándares de calidad y salvaguardar sistema PROJET
- Brindar lineamientos técnicos para la correcta intervención del sistema PROJET
- Evitar o reducir lo máximo posibles perjuicios económicos a la empresa por detenciones de emergencias y/o mantenimientos no programados
- Llevar un efectivo control de inventario (bodegaje) ya que el mantenimiento preventivo permite gestionar y controlar de mejor forma recursos, materiales o repuestos críticos en todo momento, mejorando disponibilidad
- Optimo uso de CAPEX, capital para uso en mantenimiento, ya que permite planificar y cuantificar gastos asociados a detenciones mecánicas, mejorando gestión y uso de recursos en el tiempo
- Impacto en estándares de seguridad del entorno y funcionamiento del sistema, asegurando o mejorando condiciones al personal y lugar de trabajo

- Aumento de la vida útil del equipo y sus componentes asociados, al realizar intervenciones efectivas a tiempo
- Permite identificar y atender averías menores, anticipándose a que se conviertan en averías graves, minimizando ocurrencia de accidentes, pérdidas de producción o gastos no planificados en sistema PROJET
- A través del tiempo se puede generar un historial del equipo o sistema PROJET, donde estos datos se pueden utilizar para monitorear su comportamiento, requerir inspecciones, solicitar repuestos y estimar mantenciones de rigor

CAPÍTULO III: DELINEACIÓN DISEÑO DE SOLUCIÓN

GENERALIDADES Y CONTEXTO

A continuación, en este capítulo se delineará la solución para la problemática que se detectó, en este caso era la falta de un plan o visión preventiva de mantenimiento para el activo PROJET, considerado un equipo crítico para la tratativa de la fibra de madera, por ello se decidió elaborar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad, esto conlleva realizar una matriz de criticidad junto a tabla o cuadro de jerarquización, que tiene caracterización de los equipos del sistema PROJET, como frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto ambiental o de seguridad, ello para determinar la criticidad, implicancia e incidencia de cada equipo en el sistema. Generando la puntuación en la tabla de jerarquización mediante matriz de criticidad permitirá identificar certeramente el o los equipos que mayor impacto tiene en el sistema en cuanto a la función como tal que cumple y además en el caso de fallar, causar los perjuicio productivos y económicos que puede generar para la empresa, impactos de seguridad a personal y ambiente de trabajo. Además, se realizará un estudio de costos para visualizar el valor aproximado que se generaría al implementar este plan de mantenimiento preventivo en el sistema PROJET.

La elaboración de esta propuesta preventiva de mantenimiento tiene como principales prioridades, primeramente, instaurar la importancia de contar con plan de análisis y acción para salvaguardar el sistema y equipos, como lo es el mantenimiento centrado en confiabilidad. Luego de generado el plan de mantenimiento, continuamente se pueden obtener beneficios como evitar perjuicios económicos, aumentar vida útil y mejorar su eficiencia, mejorar o mantener producción, entre otros.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Adentrándose en el mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad se enfocará en el análisis del proceso de aplicación de resina como tal y a los 8 activos principales del sistema de inyección de resina UF, PROJET. Previamente se debe tener en cuenta conceptos claves como:

Riesgo

El riesgo, término probabilístico, alude a pérdidas como consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla. Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión: $R(t) = P(t) * C(t)$, donde:

- $R(t)$: Riesgo
- $P(t)$: Probabilidad
- $C(t)$: Consecuencia

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una técnica de mantenimiento en la que se establecen rangos relativos para expresar la probabilidad o frecuencia de eventos y sus consecuencias. Es una herramienta altamente usada, ya que ayuda en la toma de decisiones junto a la gestión de activos, por ello si se emplea adecuadamente puede beneficiar e impactar de forma positiva al sistema de la empresa.

CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN UTILIZADOS

Los criterios de jerarquización son factores que se utilizan para ordenar y clasificar, en este caso los 8 activos principales del sistema PROJET, en función a su importancia dentro del sistema de inyección. Estos criterios de jerarquización son claves ya que permiten la toma de decisiones con respecto al sistema y a cada equipo, además es posible usar esta herramienta junto a otras para obtener mejores resoluciones en tomas de decisión. Los criterios que se usaran son:

- Frecuencia de falla
- Impacto operacional
- Flexibilidad operacional
- Costo de mantenimiento
- Impacto de seguridad

Frecuencia de falla

Este factor hace alusión a la periodicidad con la que los equipos asociados del sistema PROJET tienden a presentar daños o averías, impidiendo su funcionamiento parcial o total. Para ello existe 4 categorías según la cantidad de fallas presentadas de manera anual, para asignarle puntuación correspondiente.

FRECUENCIA DE FALLA	PUNTAJE
<i>$Ff < 1 \text{ anual}$</i>	<i>2</i>
<i>$1 \text{ anual} < Ff < 3 \text{ anual}$</i>	<i>3</i>
<i>$3 \text{ anual} < Ff < 6 \text{ anual}$</i>	<i>4</i>
<i>$Ff > 6 \text{ anual}$</i>	<i>5</i>

Tabla 4. *Factor frecuencia de falla*

(Riquelme A., Tabla factor de frecuencia de falla, 2024)

Impacto operacional

Este factor hace alusión a la implicancia que tiene un componente o equipo del sistema PROJET, en la operación o funcionamiento del proceso, en este caso el de inyección de resina, es decir que tan importante es en el sistema y el impacto que tiene al fallar, pudiendo o no detener la operación. Para ello existen 5 categorías según la incidencia en la operación de cada equipo.

IMPACTO OPERACIONAL	PUNTAJE
<i>No Afecta</i>	<i>0</i>
<i>25%</i>	<i>1</i>
<i>50%</i>	<i>2</i>
<i>75%</i>	<i>3</i>
<i>La impacta totalmente</i>	<i>4</i>

Tabla 5. *Factor impacto operacional*

(Riquelme A., Tabla factor de impacto operacional, 2024)

Flexibilidad operacional

Este factor hace alusión a la disponibilidad de que exista una función alterna o de respaldo capaz de realizar la misma función o directamente si existe otro equipo similar que realice la función requerida. Para ello existen 3 categorías para asignarle a cada equipo, considerando que puede existir o no un equipo similar o de respaldo.

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	PUNTAJE
<i>No se dispone de otro Equipo Similar</i>	<i>3</i>
<i>El sistema puede seguir Funcionando</i>	<i>2</i>
<i>Se dispone de otro Equipo igual o similar</i>	<i>1</i>

Tabla 6. *Factor flexibilidad operacional*

(Riquelme A., Tabla factor de flexibilidad operacional, 2024)

Costo de mantenimiento

Este factor hace alusión al costo económico que implicar realizar acciones de mantenimiento considerando la mano de obra, repuestos e insumos necesarios, esto por cada equipo que lo requiera del sistema PROJET, estos costos se consideran de manera anual. Para ello existen 4 categorías para asignarle a cada equipo, considerando un rango que van desde 20.000 USD hasta más de 60.000 USD.

COSTO DE MANTENIMIENTO	PUNTAJE
<i>Cr < 20.000 DL</i>	<i>1</i>
<i>20.000 DL < Cr < 40.000 DL</i>	<i>2</i>
<i>40.000 DL < Cr < 60.000 DL</i>	<i>3</i>
<i>Cr > 60.000 DL</i>	<i>4</i>

Tabla 7. *Factor costo de mantenimiento*

(Riquelme A., Tabla factor de costo de mantenimiento, 2024)

Impacto ambiental o de seguridad

Este factor hace alusión a que ante la existen de una avería, accidente o parada de emergencia, permita ver que impacto o eventual daño puede tener de generar el o los componentes o equipos al sistema, al proceso o al mismo equipo, incluso si reviste riesgo al ambiente de trabajo. Para ello existen 2 categorías para asignarle a cada equipo, respondiendo directamente si tiene impacto o no.

IMPACTO AMBIENTAL O DE SEGURIDAD	PUNTAJE
<i>NO</i>	<i>0</i>
<i>SI</i>	<i>4</i>

Tabla 8. *Factor impacto ambiental o de seguridad*

(Riquelme A., Tabla factor de impacto ambiental y seguridad, 2024)

TABLA O CUADRO DE JERARQUIZACIÓN

Concentra la puntuación concedida por cada uno de los factores de categorización, en este caso son 5, esto para cada equipo, además permite visibilizar los equipos más importantes e influyentes dentro del sistema, en base a eso se ordenan los activos de forma jerárquica. En este caso se identifica al sistema de dosificación de resina IMAL e inyector de resina, como los activos más relevantes del sistema.

La fórmula para obtener la consecuencia o relevancia de cada equipo está dada por $C(t) = (IO(t) * FO(t)) + CM + IA$, donde:

- $C(t)$: Consecuencia
- $IO(t)$: Impacto Operacional
- $FO(t)$: Flexibilidad Operacional
- $CM(t)$: Costos de Mantenimiento
- $IA(t)$: Impacto Ambiental o Seguridad

ACTIVOS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	JERARQUIZACIÓN
INVECTOR DE RESINA	5	4	2	2	4	14	70	CRÍTICO
SISTEMA DE DOSIFICACIÓN IMAL	3	4	3	1	4	17	51	CRÍTICO
SISTEMA DE CONTROL Y FUERZA (PLC)	2	4	3	1	4	17	34	SEMICRÍTICO
BOMBA CENTRÍFUGA PRINCIPAL	2	4	3	1	4	17	34	SEMICRÍTICO
ACTUADOR CON VÁLVULA DE BOLA TRES VÍAS	4	3	1	1	4	8	32	SEMICRÍTICO
FLEXIBLES DE VAPOR Y AGUA/RESINA	4	3	1	1	4	8	32	SEMICRÍTICO
ACTUADOR ELERO	3	3	1	1	4	8	24	SEMICRÍTICO
FLUJÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO	3	2	1	1	4	7	21	SEMICRÍTICO

Tabla 9. Cuadro de Jerarquización
(Riquelme A., Tabla o cuadro de jerarquización, 2024)

MATRIZ DE CRITICIDAD

Una matriz de criticidad es una herramienta crucial que se emplea en la propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad, se usa en la gestión de riesgos, mantenimiento y análisis de procesos, esto sirve para identificar y evaluar la importancia de ciertos elementos dentro de un sistema, en este caso activos del sistema PROJET. Permite localizar junto con priorizar los esfuerzos de mantenimiento, con el despliegue de recursos para aquellos componentes que presentan mayor impacto ante el riesgo de que fallen. La relación entre el desempeño de la empresa y las fallas de los activos influye en la toma de decisiones, en que recursos se utilizan y que equipos deben priorizarse. Al identificarlos, se perfeccionan tiempos de acción y se puede mejorar la confiabilidad de los activos.

Existen dos criterios principales en una matriz de criticidad, primero la frecuencia o probabilidad de que ocurra un determinado evento y la consecuencia o el impacto que tendría dicho evento si se produce en el activo del sistema.

Los componentes principales de una matriz de criticidad son:

- Frecuencia de falla (FF): Corresponde a la posibilidad de que un determinado evento como un fallo o defecto ocurra.
- Consecuencia (C): Corresponde a la magnitud, relevancia o gravedad que tendría el evento si ocurre.

TABLA O CUADRO DE MATRIZ DE CRITICIDAD

Corresponde a un cuadro diseñado según código de colores (rojo, amarillo, verde) que permite visibilizar el impacto e intensidad asociado al riesgo de daño, fallo o avería. Posee 2 ejes en el (X) se encuentra puntuado de 2-20 correspondiente a consecuencia y el eje (Y) se encuentra puntuado de 1-5 correspondiente a la frecuencia de falla con la que puede ocurrir.

Para obtener la criticidad de cada equipo se analiza la frecuencia de falla que se obtiene de la puntuación que se le asigno según la categorización de frecuencia de fallas, esto en cuadro de jerarquización, se encuentra en el eje (Y). La consecuencia se obtiene al multiplicar el impacto operación y la flexibilidad operacional, el valor que se obtiene se suma los costos de mantenimiento e impacto ambiental o de seguridad, obteniendo el valor final. La consecuencia se encuentra en el eje (X) en la matriz de criticidad. Ya obtenidos ambos valores se cruzan ambos ejes y el valor final permite determinar el nivel de criticidad de los equipos evaluados individualmente.

FRECUENCIA	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	4	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	3	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	2	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		CONSECUENCIA									

Tabla 10. *Matriz de criticidad*

(Riquelme A., Tabla de análisis de matriz de criticidad, 2024)

CRITICIDAD	RANGO DE CRITICIDAD
NO CRITICO	Menor a 18
SEMICRITICO	Entre 19-50
CRITICO	Entre 51-100

Tabla 11. *Rangos de Criticidad*

(Riquelme A., Tabla de rango de matriz de criticidad, 2024)

ANÁLISIS DE FALLA Y EFECTO

En el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es fundamental para la gestión sistemática sobre un activo en aspectos como identificar las funciones, analizar sus modos de falla y enfocar estrategias de mantenimiento, para todo ello se puede resumir en 7 preguntas claves que se deben realizar, las cuales son:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema? (Estándares de funcionamiento)
- ¿De qué manera el equipo o sistema puede dejar de cumplir sus funciones? (Fallas funcionales)
- ¿Qué causa cada falla funcional? (Modos de falla)
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional? (Efectos de falla)
- ¿En qué manera afecta cada falla funcional? (Consecuencias de la falla)
- ¿Qué se puede hacer para prevenir la falla?
- ¿Qué sucede si no puede prevenir la falla?

A continuación, teniendo en cuenta lo antes descrito se detallará mediante tablas los principales aspectos de modo de falla y efecto de falla con su frecuencia correspondiente por cada equipo o componente del sistema PROJET.

Inyector de resina

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Inyector de resina</i>	<i>Dispositivo mecánico encargado de realizar inyecciones atomizadas o pulverizadas de resina UF a línea de secado, por donde pasan las fibras de madera</i>	<i>1. Fugas e impurezas en inyector para realizar inyección de resina</i>	<i>1. Endurecimiento de resina: Se observa que cuando el inyector está en reposo mucho tiempo (inactividad) se solidifica la resina, impidiendo su actuar; existe una ocurrencia de 4 veces trimestralmente</i> <i>2. Fugas de resina: Debido a mal ajuste y apriete de sistema de presión interno del inyector, existe fugas, ocurrencia 8 veces por semestre</i>
		<i>2. Fallo de sistema de control</i>	<i>1. Problema Eléctrico: Al existir problemas eléctricos en el control del inyector, este no puede ser accionado, ocurrencia 5 veces semestralmente</i> <i>2. Calibración: Al realizarse una mala calibración, puede ocasionar que no realice inyecciones o que sean nula, ocurrencia 5 veces semestralmente</i>



Tabla 12. *Análisis de fallas de inyector de resina*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de inyector de resina, 2024)

Sistema de dosificación de resina IMAL

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Sistema de dosificación Imal</i>	<i>Conjunto encargado de recibir la resina desde el estanque principal exterior de almacenamiento, para recibirlo en uno de tránsito, además mezcla y dosificada mediante 2 bombas de tornillo excéntrico a línea resina PROJET</i>	<i>1. Intermitencias de entrega de flujo de resina, pudiendo ser excesiva o deficiente, es decir un desvío del rango de flujo de resina entregado</i>	<i>1. Control: Falla de programación con datos incorrectos de flujo, impidiendo flujo de resina, con ocurrencia de 3 vez anualmente</i> <i>2. Problemas en dosificación: Daño en sistema neumático de apertura de dosificador, ocurrencia 4 vez anualmente</i> <i>3. Material atascado: Se impide el flujo total o parcial, ocurrencia 2 veces por semestre</i>

		2. <i>Desconfiguraciones de funcionamiento conjunto bomba-motor</i>	1. <i>Rotura empaquetadura: Daño parcial o total de empaquetadura, ocurrencia 2 veces anualmente</i> 2. <i>Desalineamiento de conjunto bomba motor: Se realiza alineamiento 1 semestralmente</i> 3. <i>Desalineación de los ejes: Se detectan 3 casos de desalineación axial por semestre</i> 4. <i>Falla en el motor eléctrico: Se reportan 2 falla de motor anuales</i>
			

Tabla 13. *Análisis de fallas de sistema de dosificación Imal*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de sistema de dosificación Imal, 2024)

Sistema de control y fuerza (PLC)

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Sistema de control y fuerza (PLC)</i>	<i>Equipo de control, que suministra de energía eléctrica a diversos equipos del sistema, permite controlar tiempo de acción de apertura/cierre de actuadores</i>	<i>1. Falla en software de PLC</i>	<i>1. Reinicio de sistema: Sufre apagado y encendido el software cargado en PLC, ocurrencia 1 vez anualmente</i> <i>2. Problemas en actualizaciones: Se produce errores en la actualización de software de control de PLC, ocurrencia 1 vez anualmente</i>
		<i>2. Caída de energía en planta</i>	<i>1. Problemas de suministro de energía: Apagado del PLC por desenergización, ocurrencia de 1 vez anualmente</i> <i>2. Fallo de control de equipos: Impedimento para accionar actuador neumático y actuador eléctrico, ocurrencia de 3 veces semestralmente</i>



Tabla 14. *Análisis de fallas de PLC*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de PLC, 2024)

Bomba centrífuga principal

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Bomba Centrífuga Principal</i>	<i>Dispositivo principal que permite levantar el flujo de agua desde línea proveniente de planta de efluentes hacia el sistema PROJET</i>	<i>1. No levanta el caudal requerido para optimo funcionamiento</i>	<i>1. Problemas de flujo en planta de efluentes:</i> <i>No se suministra con suficiente flujo de agua a bomba centrífuga, ocurrencia de 3 veces semestralmente</i> <i>2. Impulsor de bomba centrífuga:</i> <i>Daño en aspas de impulsor, ocurrencia de 1 vez anualmente</i> <i>3. Motor eléctrico:</i> <i>Problemas en embobinado de motor, ocurrencia de 1 vez anualmente</i>

		2. <i>Fugas excesivas y evidentes de agua</i>	1. <i>Falla en sello mecánico: Desgaste de sello por tiempo de funcionamiento, ocurrencia 2 veces anualmente.</i>
			

Tabla 15. *Análisis de fallas de bomba centrifuga principal*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de bomba centrifuga principal, 2024)

Actuador neumático con válvula de bola tres vías tipo L

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Actuador neumático con válvula de bola tres vías tipo L</i>	<i>Dispositivo neumático que permite accionar y controlar apertura y cierre de válvula tres vías, donde esta permite el flujo por dos vías de resina y agua respectivamente, la tercera se obstruye mediante una cara de la bola. El accionamiento se encuentra configurado de tal forma de actuar en intervalos</i>	<i>1. Intermitencias de entrega de flujo de resina o agua, pudiendo ser excesiva o deficiente, es decir un desvío del rango de flujo de resina entregado</i>	<i>1. Obstrucción: Impurezas o solidificación de resina que impide normal flujo, ocurrencia de 5 veces semestralmente</i> <i>2. Accionamiento actuador neumático: Problemas de control en accionamiento ON/OFF de actuador, ocurrencia de 4 veces semestralmente</i>
		<i>2. Fugas evidentes y considerables de mezcla de agua con resina</i>	<i>1. Problemas en sellos de válvula de bola: Corte, daño o desgaste en sello plástico de válvula de bola, ocurrencia de 5 semestralmente</i> <i>2. Falta de apriete de pernos fijadores de tapa de cara (4) de válvula de bola, ocurrencia de 6 veces semestralmente</i>



Tabla 16. *Análisis de fallas de actuador neumático con válvula de 3 vías*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de actuador neumático con válvula de 3 vías, 2024)

Flexibles de vapor y agua/resina

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Flexibles de vapor y agua/resina</i>	<i>Ductos enmallados y prensados semirrígidos, encargados de suministrar y abastecer de vapor desde línea de vapor a cada inyector; también mezcla de agua junto a resina desde válvula de bola 3 vías, de igual forma hacia cada inyector, a una presión entre 10-13 (bar)</i>	<i>1. Falta de suministro de vapor o mezcla de agua/resina al inyector</i>	<i>1. Obstrucción: Existencia de impurezas en ductos de resina/agua, impidiendo correcto flujo, ocurrencia de 6 veces trimestralmente</i> <i>2. Fugas vapor: Daños en cañerías, impedimento suministrar de vapor a inyector; ocurrencia 2 veces semestralmente</i>
		<i>2. Deficiente conexión a líneas de agua o vapor respectivamente</i>	<i>1. Mala conexión: Falta de apriete y ajuste en uniones a línea de agua/resina y vapor; generando</i>

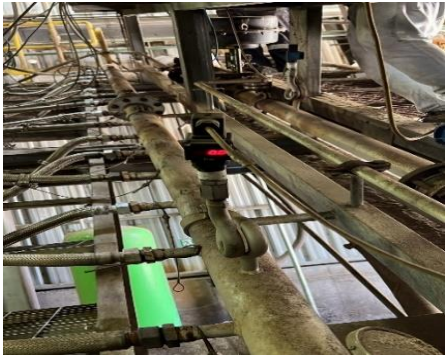
			fugas, ocurrencia de 5 veces semestralmente 2. Excesiva temperatura de vapor saturado: Entrega de vapor sobre parámetros establecidos, dañando cañería, ocurrencia de 2 veces anualmente
 			

Tabla 17. *Análisis de fallas de flexibles de vapor y agua*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de flexibles de vapor y agua, 2024)

Actuador Elero

<i>NOMBRE COMPONENTE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>FALLAS FUNCIONALES</i>	<i>MODO Y EFECTO DE FALLA</i>
<i>Actuador Elero</i>	<i>Dispositivo de control encargado de accionar vástago mediante una señal eléctrica, que conjuntamente permite la apertura y cierre de embolo de cada inyector para permitir el paso de resina UF</i>	<i>1. Problemas de control</i>	<i>1. Problemas de programación: No se genera acción de vástago impidiendo accionamiento de inyector; ocurrencia de 4 veces semestralmente</i>

			2. Corte de cableado de actuador Elero: Se produce un daño seccionado cable de energía que permite accionamiento, impide recepción de señal eléctrica, ocurrencia de 3 veces anualmente
		2. Atascamiento de vástago en su recorrido	1. Excesivo ajuste de vástago: Mucha intensidad de apriete a perno de ajuste de vástago, ocurrencia 3 veces semestralmente 2. Mal anclaje e instalación de actuador Elero: Instalación al revés (posición inversa) del actuador en brazos de sujeción del cuerpo de inyector, impidiendo correcto funcionamiento, ocurrencia de 4 veces anualmente



Tabla 18. Análisis de fallas actuador elero

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas actuador elero, 2024)

Flujómetro Electromagnético (sensor de flujo)

NOMBRE COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLAS FUNCIONALES	MODO Y EFECTO DE FALLA
Flujómetro Electromagnético (sensor de flujo)	Dispositivo encargado de realizar mediciones y control constante de flujo de la mezcla de agua/resina UF. Entrega medición el (l/min)	1. Daños y problemas de conexión en sensor electromagnético	1. Daño en sensor: Conexiones eléctricas erróneas, cables dañados o cortados, impidiendo monitorear flujo, ocurrencia de 3 veces anualmente 2. Fallas de calibración: Falta de calibración de forma más recurrente y monitoreo según condiciones de operación, ocurrencia de 2 veces anualmente
		2. Obstrucción o acumulación de sólidos de resina a través del tiempo	1. Excesiva resina: Debido a funcionamiento continuo y prolongado en el tiempo, tiende a

			<i>quedar un porcentaje de resina que se acumula y solidifica en el paso por el flujómetro, impidiendo flujo normal de mezcla de resina/agua</i> <i>ocurrencia de 5 veces</i> <i>semestralmente</i>
			

Tabla 19. *Análisis de fallas de flujómetro*

(Riquelme A., Tabla análisis de fallas de flujómetro, 2024)

TABLAS DE ACCIÓN DE MANTENIMIENTO

Tabla de monitoreo y apoyo para Mantenimiento PROJET								
Periodos de Mantenimiento	Acciones de Mantenimiento	Inspecciona	Limpiar	Revisar	Limpiar	Cambiar	Calibrar	Reparar
Monitoreo cada 48 Horas	Inspección visual inyectores							
	Inspección auditiva y visual bomba centrífuga							
	Inspección de Tablero PLC							
	Inspección de flujos (agua y resina)							
	Inspección de presiones del sistema (agua, resina, vapor)							
Monitoreo Semanal	Revisión sistema en sala de control							
	Revisión de fugas							
	Revisión calidad de resina							
	Revisión accionamiento de actuadores y válvulas							
	Revisión de accionamiento electrónicos para inyección							
	Revisión accionamiento de inyectores							
Monitoreo Mensual (Contempla detención programada mensual)	Revisión de estado del sistema neumático de válvulas							
	Cambio o limpieza válvulas de bola de tres vías obstruidas							
	Cambio de componentes de desgaste de inyectores							
	Limpieza de flexibles de agua/resina defectuosos							
	Reparación de inyectores							
	Calibración flujo de inyectores (lt/min)							
	Limpieza de componentes de inyectores							
	Revisión estado sistema eléctrico de componentes							

Tabla 20. Monitoreo y apoyo para mantenimiento PROJET

(Riquelme A., Tabla de monitoreo y apoyo para mantenimiento sistema PROJET, 2024)

DIAGRAMA ISHIKAWA (CAUSA Y EFECTO)

De forma complementaria al análisis de jerarquización, análisis de criticidad y análisis de modo y efecto de falla de cada equipo del sistema PROJET realizado previamente, se elabora un diagrama Ishikawa o diagrama de causa y efecto, conocido popularmente como esquema espina de pescado, que clarifica las incidencias y anomalías en el proceso de fabricación de tableros MDF (Medium Density Fiber Board), visto desde la perspectiva o influencia del sistema de inyección de resina UF, PROJET.

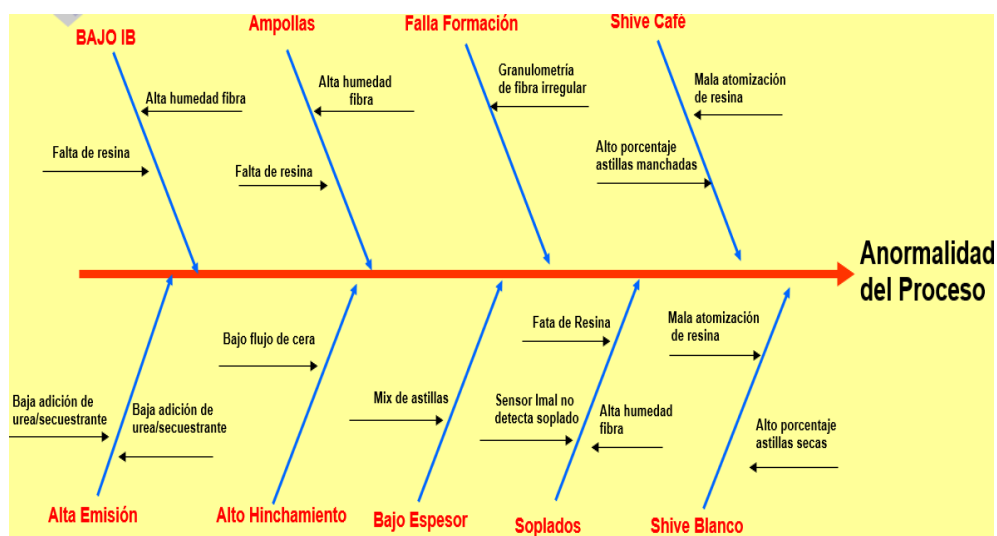


Figura 66. Diagrama Ishikawa o espina de pescado de Anormalidades

(Riquelme A., Figura de diagrama Ishikawa, causa y efecto, 2024)

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

A continuación, en este capítulo se cuantificará económicamente los costos asociados al realizar un mantenimiento preventivo al sistema PROJET, centrado en confiabilidad, considerando las actividades técnicas específicas que se realizaran al sistema y a cada uno de sus componentes, horas de trabajo involucradas, costos por la prestación de servicios de mantenimiento y repuestos necesarios. Se analizará la relación costo-beneficio del plan detallado en el capítulo anterior.

CONTEXTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A SISTEMA PROJET

Los costos económicos de mantenimiento preventivo de una planta vinculada a la industria madera, como lo es planta Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío, son muy considerables, pudiendo oscilar el capex (capital expenditure) en un rango entre un 40% hasta un 50% de los costos totales de la planta en esta área. En el mantenimiento correctivo es mayor aun el rango, pero todo esto está sujeto a la frecuencia con la que se realiza y el tipo de mantenimiento asociado. Específicamente los costos de mantenimiento mecánico tienen mayor valor debido a lo específico y crítico de cada proceso productivo junto a los repuestos requeridos, en los cuales se consideran actividades directas e indirectas a la ejecución del mantenimiento.

Previamente, antes de esta propuesta de mantenimiento preventivo al sistema PROJET, no existía un plan preventivo de mantenimiento específico para dicho activo, por consiguiente, no se concebía en su totalidad el número de detenciones anuales y los costos asociados, solo de forma parcial. Para establecer los costos de la propuesta de plan de mantenimiento preventivo asociado al sistema de inyección de resina PROJET, se considerará una detención estándar, es decir, es efectivo para una detención mensual, pero que al final se traducirá al costo anual.

Los costos de la propuesta de plan de mantenimiento preventivo que se va a estimar y llevar a cabo consideran las acciones de mantenimiento a equipos en terreno, esto no lo realiza directamente personal de área mecánica de desfibrado de planta Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío, si no que externaliza el servicio a un tercero, que es empresa contratista. Además, se genera un programa de trabajo en carta Gantt en la cual se estipulan la cantidad de días de trabajo con sus respectivas tareas junto a la empresa o individuos responsables de ejecutar el trabajo.

CIFRAS ECONÓMICAS ASOCIADAS A PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMA PROJET

En terreno se lograron obtener datos técnicos y económicos como lo son horas de trabajo involucradas, costo de mano de obra y los costos de repuestos e insumos para el mantenimiento, que se extrapolaran a tablas para ver la implicancia financiera que tiene para la empresa Tableros MDF, Cabrero, región del Bío-Bío dicha propuesta de plan preventivo de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Tabla de acción de mantenimiento y horas de trabajo asociadas en sistema PROJET

<i>EQUIPOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PROJET</i>	<i>ACCIÓN DE MANTENIMIENTO</i>	<i>TIEMPO EMPLEADO PARCIAL (minutos)</i>	<i>FRECUENCIA MENSUAL</i>	<i>TIEMPO TOTAL EMPLEADO (minutos)</i>
<i>Sistema de dosificación de resina IMAL</i>	<i>Inspección y limpieza de bombas dosificadoras de tornillo excéntrico</i>	<i>30</i>	<i>2</i>	<i>60</i>
	<i>Verificación y control de nivel de resina en estanque de sistema IMAL</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Mantenimiento de central neumática de sistema de dosificación</i>	<i>40</i>	<i>2</i>	<i>80</i>
<i>Bomba centrífuga principal (agua)</i>	<i>Inspección visual de sus componentes</i>	<i>20</i>	<i>2</i>	<i>40</i>
	<i>Comprobar estado de funcionamiento</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Verificar alineación conjunto bomba-motor</i>	<i>40</i>	<i>2</i>	<i>80</i>
<i>Inyector de resina Dieffenbacher</i>	<i>Cambio de piezas de desgaste de cada inyector en falla</i>	<i>300</i>	<i>2</i>	<i>600</i>
	<i>Fabricación de empaquetaduras de grafito para prensa estopa de inyector</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Calibración y reseteo de inyectores en falla (entrega de (l/min))</i>	<i>40</i>	<i>2</i>	<i>80</i>
<i>Actuador Elero</i>	<i>Inspección visual</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Revisar y ajustar vástago (recorrido)</i>	<i>30</i>	<i>1</i>	<i>30</i>
	<i>Comprobación de estado de accionamiento</i>	<i>30</i>	<i>1</i>	<i>30</i>
<i>Flexible metálico semirrígido trenzado de 20 (mm) con flange deslizante</i>	<i>Inspección visual para ver existencia de fugas</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Limpieza con agua caliente para eliminar solidos de resina</i>	<i>30</i>	<i>2</i>	<i>60</i>
	<i>Reemplazo de flexibles metálicos rotos, retorcidos o con fuga</i>	<i>30</i>	<i>1</i>	<i>30</i>
	<i>Inspección visual</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Comprobación de funcionamiento</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>

<i>Flujómetro Krohne (sensor electromagnético)</i>	<i>y envío de señal a pantalla control</i>			
	<i>Fabricación de empaquetadura de teflón expandido 1"</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
<i>Actuador END-Armaturen con válvula de bola de 3 vías tipo L</i>	<i>Inspección visual de actuador y válvula de bola</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Limpieza de válvula de bola de 3 vías obstruida</i>	<i>20</i>	<i>2</i>	<i>40</i>
	<i>Reapriete de sujeción de válvula de bola a actuador y cambio de sello.</i>	<i>40</i>	<i>1</i>	<i>40</i>
<i>Controlador Lógico Programable (PLC)</i>	<i>Inspección visual</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Reemplazo de componentes</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
	<i>Verificar correcto funcionamiento de programa de control cargado en PLC</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>20</i>
TIEMPO TOTAL DE TRABAJO				1400

Tabla 21. *Estimación de horas hombre de trabajo en mantención PROJET*

(Riquelme A., Tabla de estimación de horas hombre de trabajo en mantención PROJET, 2024)

Completadas las acciones de mantenimiento al sistema PROJET, se configura un tiempo de trabajo aproximado de 1400 minutos para realizar todas las actividades, lo que se traduce en 23,33 horas de trabajo efectivo, esto se convierte en 2,916 jornadas de trabajo, que aproximándolo corresponde a 3 días de trabajos de mantención mensual. Por lo que anualmente se traduce a 36 días de trabajo. Es importante mencionar que se considera una mantención mensual que en este caso correspondería a 3 días, esto no considera paradas de emergencia que se podrían ocasionar.

Tabla de repuestos e insumos necesarios para sistema PROJET

NOMBRE REPUESTO O EQUIPO REQUERIDO	MARCA O PROVEEDOR	CANTIDAD TRIMESTRAL	VALOR UNITARIO	COSTO TOTAL ADQUISICIÓN
Embolo de inyector de diámetro 6 (mm)	Dieffenbacher	15	\$49.990	\$749.850
Boquilla Atomizadora de diámetro 5 (mm)	Dieffenbacher	15	\$35.990	\$539.850
Calce de boquilla atomizadora	Dieffenbacher	15	\$10.990	\$164.850
Centrador circular de embolo de 6 (mm)	Dieffenbacher	15	\$5.990	\$89.850
Conector hexagonal de vapor de 1" 1/2	Dieffenbacher	15	\$9.990	\$149.850
Sello de cobre de 40 (mm)	Maestranza Local	15	\$2.990	\$44.850
Cabezal de desgaste inferior	Maestranza Local	15	\$10.990	\$164.850
Conjunto de ajuste de cámara de presión	Dieffenbacher	10	\$75.990	\$759.900
Flexible metálico semirrígidos de agua/resina diámetro 20 (mm), largo 1800 (mm)	Dieffenbacher	10	\$ 40.990	\$409.900
Flujómetro OPTOFLUX 4000 (sensor electromagnético)	Krohne	1	\$290.000	\$290.000
Actuador con válvula de bola de tres vías tipo L	END-Armaturen	1	\$280.990	\$280.990
Rollo empaquetadura de grafito trenzada 1/4"	Chesterton	1	\$80.990	\$80.990
Empaquetadura espirometálica de 4" 1/2	SPIRAL	2	\$23.990	\$47.980
COSTO TOTAL				\$3.773.710

Tabla 22. Costos asociados a adquisición de repuestos trimestralmente

(Riquelme A., Tabla de costos asociados a adquisición de repuestos trimestralmente, 2024)

Los costos trimestrales por repuestos, insumo y materiales ascienden a \$3.773.710, que al extrapolarlo de forma anual el gasto anual corresponde a \$15.094.840, esto es solo destinado para el sistema PROJET. Esto puede estar sujeto a cambios, ya que se estimaron un poco más de repuestos de lo normal trimestralmente para generar al cabo de un año un inventario robusto, ya que en la actualidad no existía, esto es considerado ya que se puede generar paradas inesperadas o fallos de emergencia. Es importante

señalar que en cuanto a los repuestos de desgaste como lo son boquilla de atomización, calce o camisa de boquilla, orings, embolo, conector hexagonal de vapor y conjunto de ajuste de presión, se estimó un 50% más de lo normal, es decir se pasó de 10 a 15 en esta sección de repuestos, ya que se cambian con mayor frecuencia. Esto en consideración que mensualmente fallan entre 3 a 4 líneas.

Tabla de costos asociados a prestación de servicios de empresa contratista

<i>CARGO O ROL DE PERSONAL</i>	<i>CANTIDAD DE PERSONAL</i>	<i>INGRESO POR MANTENCIÓN MENSUAL (3 DÍAS)</i>	<i>INGRESO POR MANTENCIÓN ANUAL</i>
<i>Supervisor Mecánico</i>	<i>1</i>	<i>\$285.000</i>	<i>\$3.420.000</i>
<i>Asesora de Riesgos</i>	<i>1</i>	<i>\$180.000</i>	<i>\$2.160.000</i>
<i>Mecánico Industrial</i>	<i>3</i>	<i>\$210.000</i>	<i>\$7.560.000</i>
<i>Técnico Mecánico Industrial</i>	<i>1</i>	<i>\$180.000</i>	<i>\$2.160.000</i>
<i>COSTO TOTAL</i>			<i>\$15.300.000</i>

Tabla 23. *Costos asociados a prestación de servicios externos para mantención PROJET*

(Riquelme A., Tabla de costos asociados a prestación de servicios externos, 2024)

Los costos asociados a la prestación de servicios externos y mano de obra ascienden anualmente a \$ 15.300.000, considerando a empresa contratista con un personal de 6 colaboradores, y con una prestación de servicios 36 días anuales segmentados en 3 días mensuales.

El ingreso diario de cada colaborador es:

- Supervisor Mecánico: \$95.000 diario.
- Asesora de Riesgos: \$60.000 diario.
- Mecánico Industrial: \$70.000 diario.
- Técnico Mecánico Industrial. \$60.000 diario.

Tabla de costos totales para empresa Tableros MDF, Cabrero, región del Bio-Bio

<i>ÍTEM DE COSTOS ANUALIZADO</i>	<i>COSTOS ANUALIZADOS</i>
<i>Costos asociados a adquisición de repuestos e insumos</i>	<i>\$15.094.840</i>
<i>Costos asociados a prestación de servicios externos para mantención PROJET.</i>	<i>\$15.300.000</i>
<i>COSTO TOTAL</i>	<i>\$30.394.840</i>

Tabla 24. *Costo total anual por mantención a sistema PROJET*

(Riquelme A., Tabla de costo anual por mantención a PROJET, 2024)

Por ende, los gastos y costos totales para la empresa Tableros MDF, Cabrero, región del Bio-Bio asociados a horas de trabajo, externalización de servicios de mantenimiento y costos asociados a repuestos e insumo por propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad, asciende a un total anual de \$30.394.840.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este documento se evidencia la importancia de contar con un plan de acción de mantenimiento preventivo, específicamente centrado en confiabilidad, esto para los diferentes equipos que conforman el sistema PROJET, si bien se necesita una inversión inicial y realizar una planificación del método de mantenimiento, trae muchos beneficios, principalmente el que le importa a la empresa que es disminuir los perjuicios económicos por detenciones inesperadas o fallos funcionales, esto le ayuda a ser más rentable y acotar márgenes de perdidas, siendo así los procesos más eficientes y los equipos más confiables. Como existe un encadenamiento productivo hace los procesos más armoniosos, ya que se puede lograr que el tiempo efectivo de producción pueda aumentar y generar mayores réditos económicos.

De igual forma mediante esta propuesta de plan preventivo de mantenimiento centrado en confiabilidad se busca sembrar un precedente de lo importante que es contar con un plan de acción efectivo, que permita un buen manejo de los tiempos y recursos ya que son limitados. Esto ya que en la empresa Tableros MDF, Cabrero, Región de Bío-Bío se carece de una ideología preventiva con ciertos equipos que son críticos, más bien se considera correctivo la mayor parte del tiempo, lo que evidentemente es el escenario más desfavorable en cuanto a los recursos y tiempos que implica.

Las actividades programadas que contiene la propuesta de plan preventivo de mantenimiento permiten realizar un control sistemático al proceso y equipos asociados, además permite general un historial, estos datos son tremendamente importantes ya que permite obtener indicadores a través del tiempo para el monitoreo y posteriormente evaluar mejorar las medidas preventivas.

Como recomendaciones, es importante educar al personal del área de desfibrado, que es donde se ubica el sistema PROJET, colocando énfasis en encargados de planta del área mecánica y eléctrica junto con empresa que presta los servicios, para tener conocimiento del plan para tomar acciones conjuntas y coordinadas.

Es recomendable que, si se aplica la propuesta al sistema PROJET y se evidencian mejoras sustanciales, se pueda replicar la propuesta de plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad a otros procesos, considerando evaluación previa de factibilidad.

Como ultima consideración se recomienda evaluar y analizar el plan de mantenimiento cada cierto tiempo, para verificar que este tenga un real impacto en el sistema PROJET, controlando o evitando detenciones, fallas de equipos o fallas de control, para ello se debe realizar una evaluación constante y de ser necesario agregar o suplir factores que incidan en una eficiente y confiabilidad del sistema, para así lograr una mejora continua en el proceso y la empresa.

ANEXOS

Se adjuntan recursos gráficos complementarios, relacionado al sistema de inyección de resina PROJET, plan de mantenimiento preventivo, datos técnicos del proceso de producción de tableros y graficas asociadas, que sirve como respaldo de lo vertido a lo largo del proyecto.

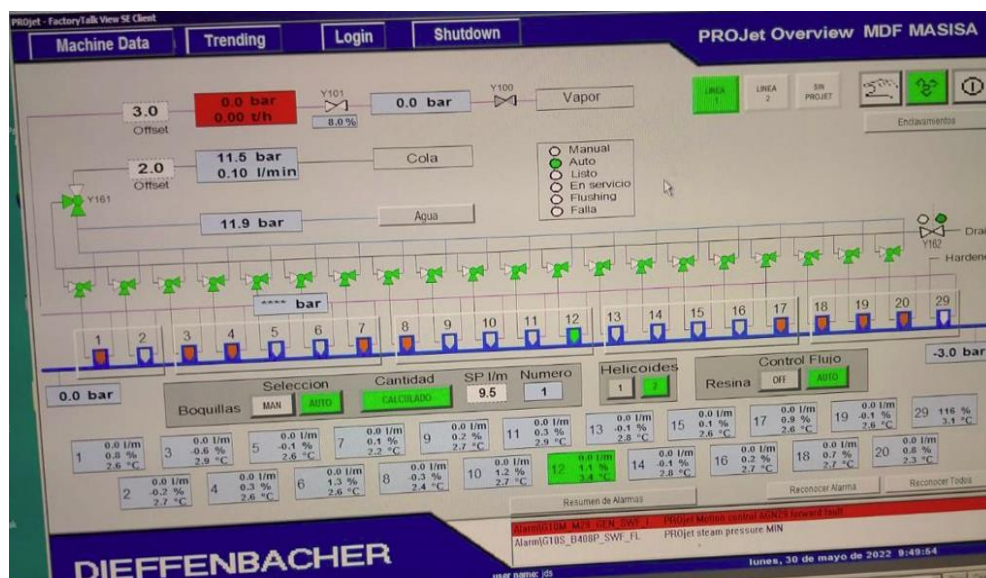


Ilustración 1. *Pantalla de control de proceso PROJET*

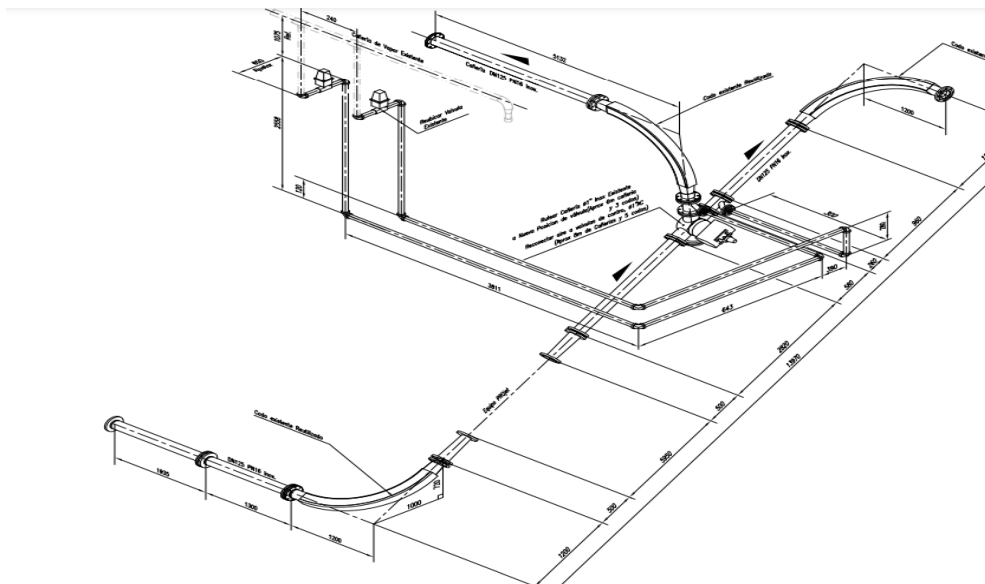


Ilustración 2. *Plano de disposición de sistema PROJET en línea de secado*

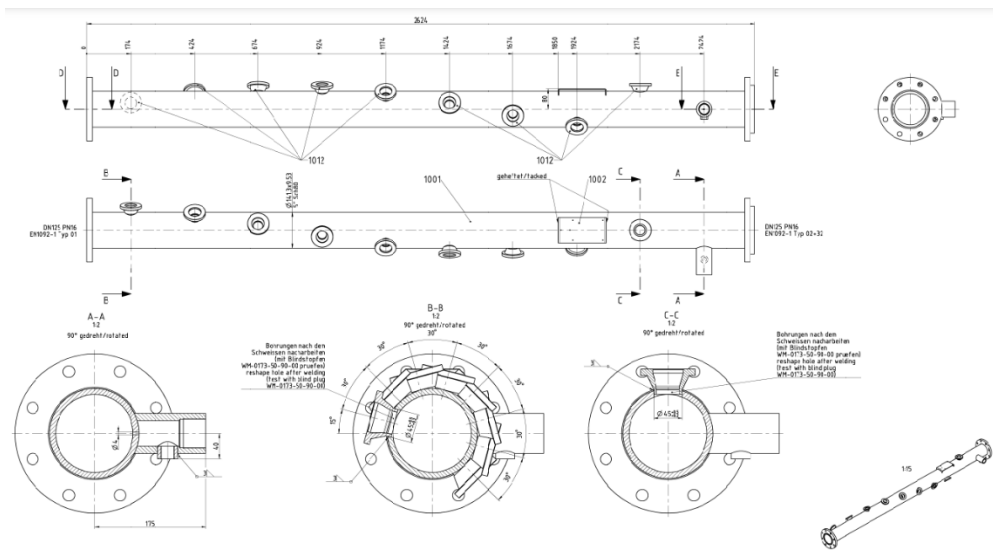


Ilustración 3. Plano sector de línea de secado donde están inyectores de resina

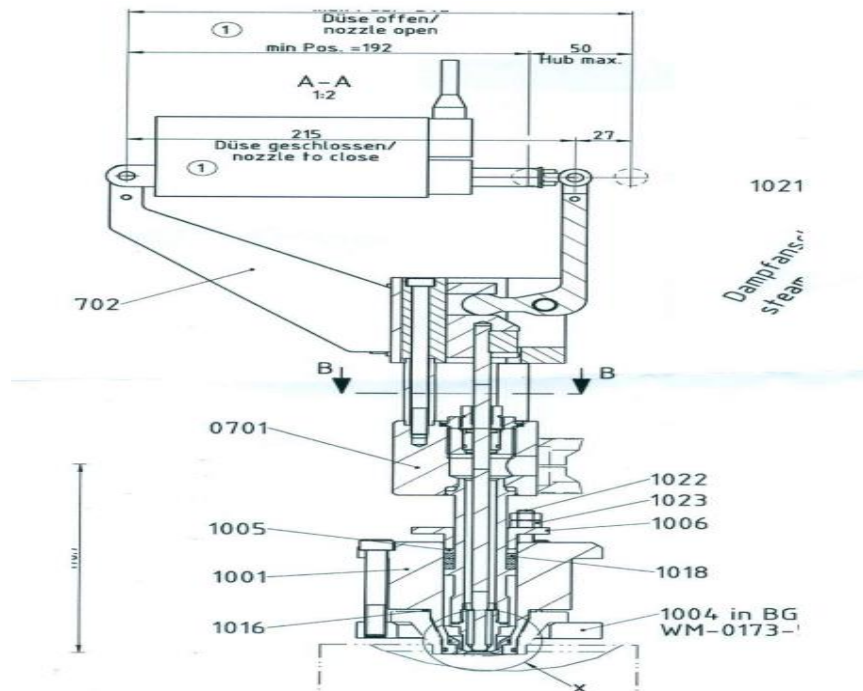


Ilustración 4. Plano en corte de inyector de resina

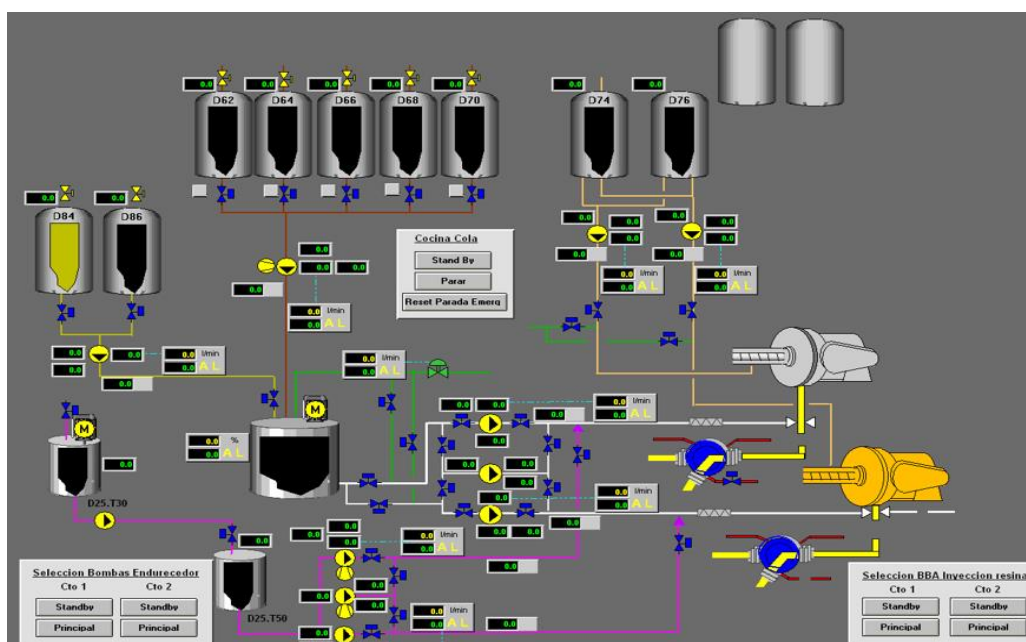


Ilustración 5. Redes de fluidos de aditivos en planta Tableros MDF

FORMULACION DE RESINAS

Carga de Material	Resina A	Resina B	Etapas Reacción
Formaldehído (50%)	52.35%	52.35%	Methilolación
Urea	23.79%	23.79%	
	Cortado a 470 cps	Cortado a 250 cps	Condensación 1
Urea	0	376% Cortado a 470 cps	Condensación 2
Remoción de agua	3.6	3.6	Destilación
Urea	23.79%	20.04%	Ultima carga de Urea
Formaldehído (50%)	52.35%	52.35%	Formalehído Total
Urea	47.58%	47.58%	Urea Total
Sólidos	65%	65%	
Viscosidad Final	200 cps	200 cps	

Ilustración 6. Formulación de resina

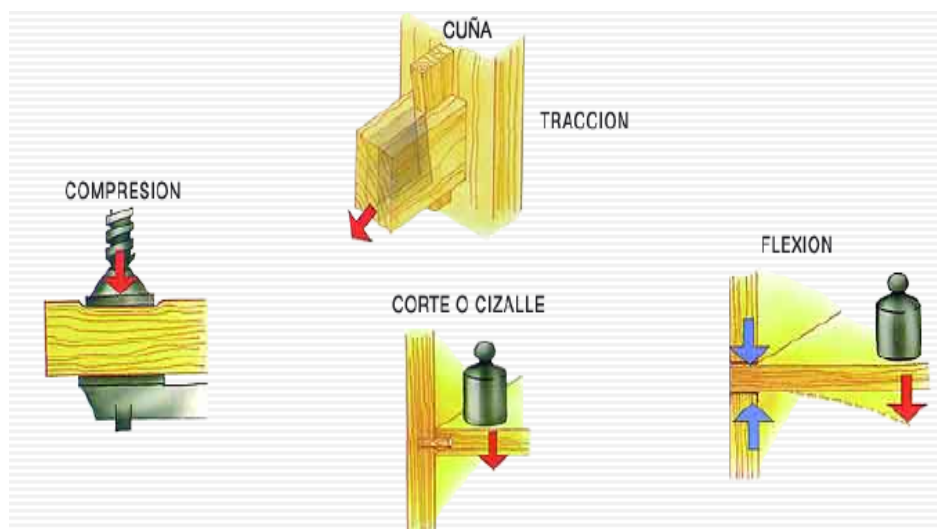


Ilustración 7. *Ensayos destructivos que se realizan a tableros MDF*