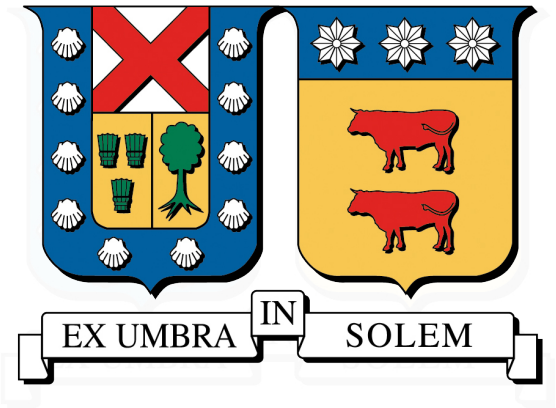
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO- CHILE



PROPUESTA DE PLANES DE ACCIÓN BAJO EL MODELO DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE MATERIA PRIMA DENTRO DEL PROCESO DE ASERRADO: CASO APLICADO ASERRADERO EL CRUCE

ALEJANDRO MARTÍN HIDALGO BERNAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : RAÚL STEGMAIER B.
PROFESOR CORREFERENTE : MÓNICA LÓPEZ C.

Septiembre 2016

A mi familia y amigos; que siempre me apoyan en los malos momentos, comparten la felicidad de los buenos y porque sin ustedes no sería lo que soy...

Agradecimientos

Agradezco el apoyo, cariño y confianza incondicional de mi familia, porque siempre supieron estar en los momentos precisos para cuando los necesitaba y no había esperanza ni luz al final del día; cada uno sabe de esos días, gracias.

Agradezco la paciencia que me tuvieron durante estos años en los cuales tal vez me perdí instancias que no volverán pero ahora puedo decir que valió la pena, por aguantar la pesadez de algunos días y sobretodo por el amor que me han dado a pesar de la distancia, ojalá tener vida, salud y tiempo suficiente para poder recompensarlo. No voy a desperdiciar la oportunidad de decirles que los amo a cada uno de ustedes Mamá, Papá, Piera, Sofía, Mami, Papi, Tía Tere, Tío Rocco, Valentina, Javiera, Macarena, Abuela Tere, Tío Lucho, Gonzalo, Carola, Abuelo Nacho, Tía Angélica, mencionar a gente que ya no está a mi lado por diversos razones pero que igual fueron importantes y a las nuevas que llegaron a mi vida para reafirmar lo afortunado que soy.

También a mis amigos, unos hace más años, otros hace menos pero que ha sido una tremenda alegría haber compartido todos estos años de estudio, de amistad, de compañía en Constitución y claramente todo tipo de ”eventos”, algunos más claros, otros más borrosos, serios y divertidos; obviamente esto perdurará en el tiempo.

Agradecer al destino por haberme permitido llegar a El Cruce, pues conocí no sólo a compañeros de trabajo sino que verdaderos amigos. A Don Milton Hernández por siempre confiar y en creer en mí, al gran área de Planificación: Don Luis, Don Roberto, Valentina en donde *ko kaké inkekikakenke kien* y aprendí no sólo de trabajo y a Don Raúl Stegmaier por guiarme en este trabajo de memoria.

Las anécdotas, los paros, los viajes en el metro, los controles y los perros siempre se recordarán, no sé que venga en el futuro pero solo sé que cada persona que pertenece de una u otra forma a mi vida esté ahí.

Gracias a todos, lo logré...

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de memoria tiene como objetivo crear planes de acción utilizando el concepto de Confiabilidad Operacional para evitar la pérdida de materia prima y producto final defectuoso en Aserradero Planta El Cruce, perteneciente a Paneles Arauco S.A., ubicada en la VII región del Maule, comuna de Constitución, Chile. Esta se dedica al procesamiento de rollizos de pino radiata desde diámetro 14 a 22 [cm] y largo 3,40 , 3,70 y 4,10 [m] para la obtención de piezas para ser exportadas o en su defecto ser destinadas a venta nacional, este último representando pérdidas monetaria para la planta.

El modelo de Confiabilidad Operacional se basa en 5 ejes agrupados para este estudio en: Confiabilidad y Mantenibilidad de los Activos estableciendo que el twin determina la capacidad, disponibilidad del aserradero y ocasiona detenciones de toda la producción que no se relacionan directamente con el proceso de aserrado, Confiabilidad del Proceso en donde el ritmo, experiencia del operador, estructura y la doble curvatura de los trozos son determinantes para el buen centrado del rollizo y que al no realizarse correctamente genera diferencias en la producción de piezas largas y cortas debiendo destinar una mayor cantidad de materia prima para la finalización de los pedidos de producción, Confiabilidad Humana la cual se presentan errores inconscientes debido la monotonía del proceso como tal y errores conscientes por poco interés o para aumentar los indicadores de producción alimentando a aserradero con rollizos de diámetros distinto a lo planificado, y Confiabilidad de los Suministros, para este caso la madera, en donde existen altos costos de oportunidad por desviaciones en los volúmenes de producción, tasa de llegada de camiones y mal rechazo de rollizos con defecto.

Las propuestas desarrolladas fueron seleccionadas según criterio monetario y a criterios de priorización de Excelencia Operacional de Arauco, de esto se obtiene:

- Desarrollo de un Manual de reglas y estándares para la operación e incorporación de ratio de asistencia y desviación de producción aplicado a los bonos de los trabajadores, presentando un costo de oportunidad como mínimo de 12.522,68 [USD] al mes.

- Creación de modelo de gestión de la cancha de rollizos sin corteza, presentando un costo de oportunidad aproximado de 7.935,68 [USD].
- Cambio de escáner de rollizos, presentando un costo de oportunidad aproximado de 3.591,00 [USD] al mes.
- Control volumétrico detallado por diámetro y largo, establecimiento de acuerdos con Forestal Arauco S.A. con respecto a la tasa de flujo de camiones adecuada para minimizar tiempo muerto durante la atención y la utilización del modelo de gestión en la programación teniendo un costo de oportunidad aproximado de 3.480,00 [USD] al mes.

ABSTRACT

This report aims to create action plans using the concept of Operational Reliability to avoid the loss of raw materials and final product defective at sawmill plant El Cruce, belonging to Paneles Arauco S.A., located in the VII Region of Maule, commune of Constitución, Chile. This is dedicated to the processing of logs of radiata pine from 14 to 22 diameter [cm] and long 3.40, 3.70 and 4.10 [m] to obtain parts to be exported or otherwise be used for domestic sale, the latter representing monetary losses to the plant.

The model of reliability operational is based in 5 axes grouped for this study in: Equipment Reliability and Maintainability establishing that the twin determines the capacity, availability of the sawmill and causes arrests of all the production,that is not directly related with the Process Reliability in where the rhythm the operator experience, structure and the double curvature of the pieces are crucial for good centring of the plump and when not properly generated by differences in the production of long and short pieces and must spend a greater amount of raw material for the completion of orders for production, Human Reliability which are unconscious errors by the monotony of the process as such and aware errors by little interest or to increase the production indicators feeding sawmill with logs of diameters different than planned , and Supplies Reliability, in this case wood, where there are high opportunity costs for deviations in production volumes, rate arrival of trucks and bad rejection of logs with defect.

Developed proposals were selected according to monetary criteria and prioritization criteria for operational excellence of Arauco, from this gets:

- Development by and for workers in a manual of rules and standards for operation,and incorporation attendance ratio and production applied to the assignment of workers, presenting an opportunity cost at least 12,522.68 [USD] per month.
- Creating management model the court of logs without bark presenting approximately a cost of opportunity 7,935.68 [USD].
- Changing scanner roundwood presenting approximately a cost of opportunity 3,591.00 [USD] per month.

- Detailed volumetric control for diameter and length, establishment of agreements with Forestal Arauco S.A. with respect to the flow rate of trucks adequate to minimize downtime during attention and the use of the management model in programming having an approximate opportunity cost 3,480.00 [USD] per month.

Índice de Contenidos

1. Problema de Investigación **1**

2. Objetivos **3**
2.1. Objetivo General . . . 3
2.2. Objetivos Específicos . . . 3

3. Marco Teórico **4**
3.1. Antecedentes . . . 4
3.1.1. Arauco Corporativo . . . 4
3.1.2. Paneles Arauco S.A. . . . 5
3.1.3. Aserradero El Cruce . . . 8
3.2. Base Teórica . . . 17
3.2.1. Life Cycle Cost . . . 17
3.2.2. Confiabilidad Operacional . . . 19
3.2.3. Herramientas y Procedimientos de Análisis . . . 21
3.2.4. Lean Manufacturing . . . 37
3.2.5. Herramientas de Lean Manufacturing . . . 39

4. Metodología **41**

5. Desarrollo **42**
5.1. Confiabilidad y Mantenibilidad de los Activos . . . 42
5.1.1. Conclusiones . . . 56
5.2. Confiabilidad del Proceso . . . 57
5.2.1. Estudio de Centrado . . . 58
5.2.2. Análisis e impacto de FU y Ritmo en IR % . . . 73
5.2.3. Quiebre de Piezas en Caída de Múltiples . . . 80
5.2.4. Conclusiones . . . 84
5.3. Confiabilidad de los Suministros . . . 85
5.3.1. Análisis de Abastecimiento . . . 85
5.3.2. Estudio Efectividad de Escáner . . . 100
5.3.3. Conclusiones . . . 105
5.4. Confiabilidad Humana . . . 106
5.4.1. Fallas Humanas dentro de las Líneas de Producción . . . 106
5.4.2. Fallas Humanas en la Alimentación de Materia Prima . . . 112

5.4.3. Conclusiones 114
5.5. Ishikawa Aserradero El Cruce 115

6. Acciones según Oportunidades **116**
6.1. Establecimiento de Propuestas 116
6.2. Jerarquización 120
6.3. Desarrollo de Propuestas 123

7. Conclusión **139**

Bibliografía **142**

A. Constantes Control Estadístico de Procesos **144**

B. Capacidad Activos **145**

C. Detenciones por Máquina **148**

D. Repercusión 3 por Máquina **153**

E. Análisis MRL IR %, FU y Ritmo **154**

F. Abastecimiento Mayo 2016 **163**

Índice de Tablas

3.1. Resumen general valorización gestión de procesos. 16

5.1. Capacidad por máquina. 44
5.2. Factor de uso y disponibilidad por máquina. 49
5.3. Detenciones con repercusión 3 por máquina. 53
5.4. Detalle de detenciones con repercusión 3 twin. 54
5.5. Esquema de trabajo para estudio de centrado 1. 60
5.6. Mediciones de altura lampazo [mm] estudio de centrado 1. 61
5.7. Piezas por lampazo real estudio de centrado 1. 62
5.8. Distribución de varianzas estudio centrado 1. 64
5.9. Producción y rendimiento por categoría estudio de centrado 1. 65
5.10. Esquema de trabajo para estudio de centrado 2. 66
5.11. Resumen resultados estudio de centrado 2. 66
5.12. Esquema de trabajo para estudio de centrado 3. 67
5.13. Resumen resultados estudio centrado 3. 68
5.14. Alimentación twin programa de trabajo de estudio de centrado 1. 77
5.15. Volumen de piezas quebradas por día y escuadría. 81
5.16. Volumen de piezas quebradas según escuadría. 82
5.17. Márgen ex-fábrica [USD/m^3] Mayo 2016. 82
5.18. Volumen y costo [USD] de piezas quebradas según mercado de exportación. 83
5.19. Costo de rollizo [USD/m^3] según diámetro y grado. 87
5.20. Resumen abastecimiento Abril 2016. 92
5.21. Llegada de camiones con tasa de llegada [camiones/hora] distinta. 94
5.22. Resumen abastecimiento Mayo 2016 Largo 3,40 [m]. 95
5.23. Resumen abastecimiento Mayo 2016 Largo 4,10 [m]. 96
5.24. Márgen ex-fábrica [USD/m^3] Abril 2016. 97
5.25. Costo por no producir [USD/m^3]. 97
5.26. Matriz pérdida cruzada de rendimiento [%] largo 3,40 [m] Abril 2016. . . 98
5.27. Matriz pérdida cruzada [USD/m^3] largo 3,40 [m] Abril 2016. 98
5.28. Resumen doble curvatura. 103
5.29. Programa para estudio de trozador B. 107
5.30. Resultados operador trozador B rechazando. 108
5.31. Resultados operador trozador B sin rechazar. 108

6.1. Matriz de correlaciones de propuestas con puntos de análisis. 120

6.2. Resultados priorización según criterios de Excelencia Operacional. 122

A.1. Constantes para gráficos de control. 144

B.1. Parámetros e intervalos de confianza para capacidad twin y CAPE. 146
B.2. Capacidad múltiples, canteadoras y grimmes. 147

C.1. Número y tiempo de detenciones por máquina. 149
C.2. Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Continuación)* 150
C.3. Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Continuación)* 151
C.4. Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Final)* 152

D.1. Descripción de detenciones repercusión 3 por máquina. 153

E.1. Resumen del modelo. 155
E.2. P-valor de los coeficientes del modelo. 155
E.3. Resumen nuevo modelo. 156
E.4. Observaciones atípicas. 156
E.5. Factor de inflación de la varianza para cada variable. 158
E.6. Matriz de varianza y covarianza 160

Índice de Figuras

3.1. Producción de maderas 2015 por tipo de producto [Miles de m^3]. 5
3.2. Mapa Estratégico Paneles Arauco Negocio Maderas. 7
3.3. Cortes realizado a rollizos en líneas de producción. 8
3.4. Diagrama de flujo. 9
3.5. Departamentos y organigrama general de planta. 11
3.6. Evolución IR % año 2016. 15
3.7. Costos durante el ciclo de vida de un proyecto. 18
3.8. Modelo de gestión de mantenimiento. 21
3.9. Modelo para definición de estrategia de mantenimiento. 23
3.10. Matriz génerica de criticidad. 26
3.11. Gráfico dispersión de Jack-Knife. 27
3.12. Diagrama de Ishikawa. 28
3.13. Clasificación de falla humana. 30
3.14. Proceso de mejoramiento de la confiabilidad humana. 31
3.15. Diagrama de control de fallos. 32
3.16. Carta de control. 35

5.1. Layout aserradero. 43
5.2. Diagrama de bloques de confiabilidad. 44
5.3. Check-list operador Twin. 46
5.4. Diagrama de proceso de falla por check-list. 47
5.5. Factor de uso aserradero. 50
5.6. Disponibilidad aserradero. 51
5.7. Diagrama Jack-Knife aserradero. 53
5.8. Cadena de rodillos helicoidales. 55
5.9. Mal centrado de rollizo. 57
5.10. Rollizo en twin. 58
5.11. Estudio actual de centrado. 59
5.12. Esquema de toma de medidas estudio centrado. 60
5.13. Medición de altura. 60
5.14. Ishikawa mal centrado twin. 69
5.15. Rodillos acomodadores de twin. 70
5.16. Rodete. 70
5.17. Doble curva presente en twin. 71
5.18. Canto muerto en piezas centrales. 71

5.19. Factor de operación linealizado y simplificado. 74
5.20. Programa de trabajo 1600223. 77
5.21. Tasa de alimentación real versus planificada del twin [trozos/min]. 78
5.22. Control estadístico del proceso de alimentación. 78
5.23. Atochamiento canteadora 1. 79
5.24. Caída múltiple 1. 80
5.25. Carta gantt abril 2016. 86
5.26. Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 3,40 [m] Abril 2016. . 88
5.27. Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 3,40 [m] Abril 2016. . 89
5.28. Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 3,40 [m] Abril 2016. . 89
5.29. Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 3,40 [m] Abril 2016. . 90
5.30. Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 3,40 [m] Abril 2016. . 91
5.31. Distribución Diamétrica Abril 2016 Largo 3,40 [m]. 91
5.32. Abastecimiento Abril 2016. 92
5.33. Flujo de camiones 10 a 13 de Abril por hora. 93
5.34. 3 camiones al mismo instante de tiempo. 94
5.35. Distribución Diamétrica Mayo 2016 Largo 3,40 [m]. 95
5.36. Distribución Diamétrica Mayo 2016 Largo 4,10 [m]. 96
5.37. Costo de Oportunidad de Distribución Diamétrica Abril 2016 Largo 3,40 [m] 99
5.38. Caracterización Rechazo 07 de Abril 2016. 101
5.39. Caracterización Rechazo 14 de Abril 2016. 101
5.40. Caracterización Rechazo 21 de Abril 2016. 102
5.41. Caracterización Rechazo 28 de Abril 2016. 102
5.42. Trozo curvo en estudio de tendido. 103
5.43. Curvatura rollizo diámetro 16. 103
5.44. Programa de trabajo 1600183. 107
5.45. Cinta de retorno detenida. 110
5.46. Pieza lateral en borde de cinta de transporte múltiple 110
5.47. Piezas finales transportadas por cinta de transporte múltiple. 111
5.48. Diferencia volumétrica según inspección visual y base descortezador. . . 112
5.49. Flujo de comunicación área descortezado. 113
5.50. Ishikawa para la pérdida de rendimiento en Planta El Cruce. 115

6.1. Lineamientos de oportunidades dentro de mapa estratégico Paneles Arauco. 117
6.2. Propuesta indicador de asistencia por turno y desviación de producto. . . 123
6.3. Gráficos actuales de carta gantt de rollizos. 125
6.4. Zona para contabilización de tiempo de atención. 126
6.5. Análisis 3 camiones con desfase de 12 [min]. 126
6.6. Ejemplificación de introducción de distribución real y volumen en cancha sin corteza. 127
6.7. Obtención de programas de trabajo. 128
6.8. Información de escuadría central según programa de trabajo. 128
6.9. Obtención de laterales. 129
6.10. Imagen en 3D de rollizo y escuadrías en la programación. 130

6.11. Propuesta flujo de comunicación área descortezado. 131
6.12. Planilla stock en cancha de descortezado. 133
6.13. Detalle de calles de acopio. 134
6.14. Resumen volumétrico según diámetro, largo y calidad. 134
6.15. Resumen de calles y de calles de rechazo. 135
6.16. Diagrama de flujo para SOP cancha rollizos sin corteza. 136
6.17. Manual para la gestión de cancha rollizos sin corteza. 137
6.18. Actual cancha de rollizos sin corteza. 138
6.19. Propuesta demarcación cancha de rollizos sin corteza. 138

B.1. Histogramas capacidad twin y CAPE. 145
B.2. Histogramas capacidad múltiples, canteadoras y grimmes. 146

F.1. Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 3,40 [m] Mayo 2016. 163
F.2. Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 3,40 [m] Mayo 2016. 164
F.3. Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 3,40 [m] Mayo 2016. 164
F.4. Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 3,40 [m] Mayo 2016. 165
F.5. Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 3,40 [m] Mayo 2016. 165
F.6. Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 4,10 [m] Mayo 2016. 166
F.7. Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 4,10 [m] Mayo 2016. 166
F.8. Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 4,10 [m] Mayo 2016. 167
F.9. Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 4,10 [m] Mayo 2016. 167
F.10. Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 4,10 [m] Mayo 2016. 168

1 | Problema de Investigación

Aserradero El Cruce es una planta perteneciente a Paneles Arauco S.A. desde Diciembre de 2015, dedicada al procesamiento de rollizos de Pino Radiata. Se encuentra ubicada en la VII Región del Maule, comuna de Constitución, en Cruce Empedrado S/N°. Actualmente el personal se encuentra compuesto por contratistas, servicios externos y personal de planta sumando un total de 155 personas en ejercicio.

La zona de Aserradero cuenta con dos líneas de producción en paralelo, en una de ellas se realizan cortes dimensionados a múltiples basas, para posteriormente pasar al despuntador, continuar por la etapa de clasificadores y finalmente llegar a la máquina empaquetadora, CAPE, para ser empaquetado o, en caso contrario, pasar a trozadores de no cumplir con las especificaciones de la norma del país al cuál se está produciendo. Por otro lado, la segunda línea es la que inicia en las canteadoras (corte de canto lateral), para continuar por las máquinas grimme (corte de canto superior). Finalmente pasa al despuntador siguiendo por los clasificadores en donde las escuadrías que cumplan con la norma son sacadas a carro de forma manual o en su defecto pasar a los trozadores para ser aprovechados en otro pedido.

Junto con lo anterior, el aserradero se caracteriza por tener una baja automatización de los procesos, en donde los parámetros de trabajo de cada estación depende de la capacidad física, conocimiento de la maquinaria, experiencia y capacitación que tenga el trabajador. Por lo tanto, mantener el ritmo de procesamiento y alcanzar la producción planificada dependerá de la experticia y velocidad de trabajo de cada operario. En consecuencia, se manifiesta continua variabilidad de los procesos que se transmite a lo largo de las líneas de producción y que hará que se tenga una alta probabilidad de obtener escuadrías fuera de norma. Es por esto que intentando evitar la situación anterior la planta se ha alineado

con la política ambiental de Arauco de manera que trabaja bajo el marco del máximo aprovechamiento de las materias primas, que para la industria del aserrío de madera se traduce en una disminución de los costos asociados a la fabricación. De esta manera el objetivo primordial en la planificación es optimizar el esquema de corte para minimizar los subproductos (astilla y aserrín), o de la misma manera maximizar la utilización del rollizo o tronco. Sin embargo, hay diferencia significativa en los programas de trabajo con respecto al rendimiento (*Cociente entre volumen de producto final procesado y volumen de rollizos utilizados*) y que impactan al IR % (*Índice de rendimiento: ratio entre el rendimiento real y rendimiento planificado*) debido a lo explicado previamente, es por esto que resulta necesario analizar cada una de las variables que puedan influir en la pérdida de materia prima y producto final defectuoso dentro de la cadena productiva y su impacto en la diferencia ya descrita.

Con respecto a lo anterior, la Confiabilidad Operacional está sustentada bajo cinco ejes en que se debe analizar y actuar en una empresa que se trace como objetivo ser una instalación confiable según lo planificado dentro de su sistema de producción. Es por eso que se plantean como ejes fundamentales:

I. Confiabilidad Humana.

II. Confiabilidad de los Suministros.

III. Confiabilidad de los Procesos.

IV. Confiabilidad de los Activos.

V. Mantenibilidad de los Activos.

Luego de analizar a la planta con respecto a cada uno de los ejes anteriormente mencionados, finalmente cabe preguntarse ¿Cuáles son los planes de acción adecuados que permitan disminuir la brecha de rendimiento encontradas por el Modelo de Confiabilidad Operacional?.

2 | Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar planes de acción, a través de la utilización del modelo de Confiabilidad Operacional como herramienta de diagnóstico, para minimizar pérdidas de materia prima y producto final defectuoso en el proceso de aserrío aplicado a Planta El Cruce.

2.2. Objetivos Específicos

I. Analizar la situación actual de la empresa con respecto a cada una de las componentes de la Confiabilidad Operacional con el fin de identificar problemas en el proceso productivo.

II. Priorizar las oportunidades según diversos criterios con el objetivo de que los planes de acción sean aplicados a fuentes principales de pérdidas de materia prima.

III. Ofrecer planes, procedimientos o estrategias para la disminución de las pérdidas dentro del proceso de aserrado.

3 | Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Arauco Corporativo

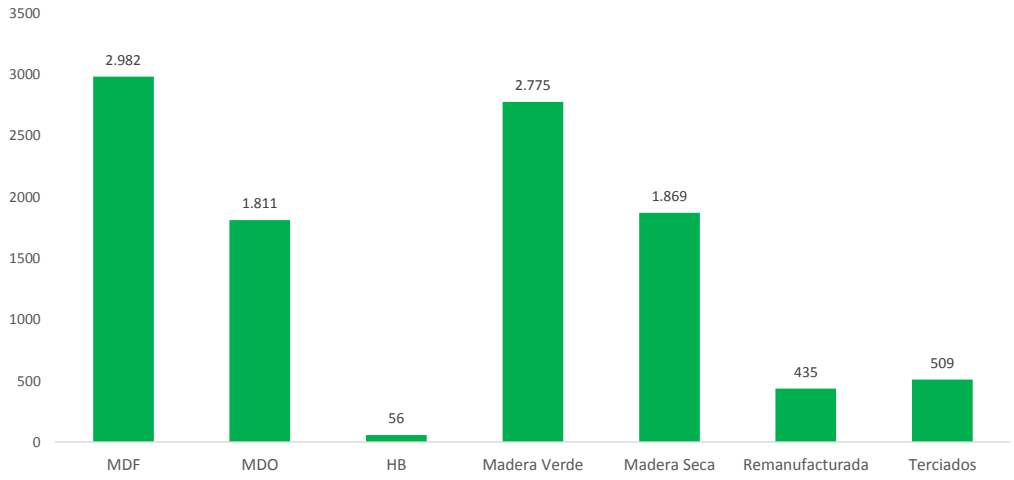
Arauco es una empresa forestal que remonta sus inicios al año 1967, tiempo en el cual se ha dedicado a la producción y gestión de recursos forestales renovables. En su comienzo con el nombre de Celulosa Arauco, se dedicó exclusivamente a la fabricación de celulosa mediante el manejo de bosques hasta que en la década del 90 se realizan grandes inversiones con el objetivo de ampliarse a nuevos negocios. Así en 1993 se funda Aserraderos Arauco S.A. dedicados a la fabricación de productos provenientes de la primera transformación de la madera, seguido en 1994 la filial Arauco Generación S.A. para la producción y comercialización de energía eléctrica a las plantas de Celulosa Arauco, ya para el año 1995 se crea Paneles Arauco S.A. dedicada a la fabricación de paneles terciados. Continuando en 1996 un proceso de internacionalización comprando empresas en Argentina, en el 2005 iniciando operaciones forestales en Argentina y Brasil, en el 2009 firma una alianza que permita a Arauco tener operaciones en Uruguay. Para el año 2010 inaugura una oficina comercial en China y en el 2011 entra al mercado de Estados Unidos mediante la compra de una empresa de paneles en dicho país. Durante el final del año 2015 el negocio Maderas unifica a Paneles Arauco S.A., Aserraderos Arauco S.A. y Arauco Distribución quedando sólo la filial Paneles Arauco S.A. por lo tanto para el año 2016 Arauco cuenta con 3 unidades de negocios: Forestal, Celulosa y Maderas, dentro de las cuales este último en Chile posee 5 plantas de celulosa, 5 plantas de paneles, 8 aserraderos, 5 plantas de remanufactura, 10 plantas de energía eléctrica y un patrimonio forestal de 1.108.683 hectáreas. Arauco

comercializa sus productos a nivel mundial mediante representantes, agentes de venta y oficinas comerciales en 80 países a más de 3.500 clientes. Asimismo, cuenta con más de 14.000 trabajadores de planta y 21.000 a través de empresas contratistas, en donde en el ámbito financiero registra ventas por US$5.147 millones, un EBITDA [1] de US$1.282 millones y utilidades por US$ 368 millones , Arauco (2016).

3.1.2. Paneles Arauco S.A.

Como ya se presentó en la sección anterior uno de los negocios de Arauco es ”Maderas”, el que tiene 17 plantas de paneles, 5 plantas de remanufactura y 9 aserraderos a nivel mundial. Las ventas del negocio alcanzaron los US$ 2.633 millones, equivalente al 51 % de las ventas consolidadas de ARAUCO, Arauco (2016). La capacidad productiva instalada del negocio se presenta en la siguiente gráfica:

Figura 3.1: Producción de maderas 2015 por tipo de producto [Miles de m^3].



Fuente: Reporte Anual Arauco 2015.

Como se aprecia la producción de madera verde alcanza los 2,8 millones de m^3.

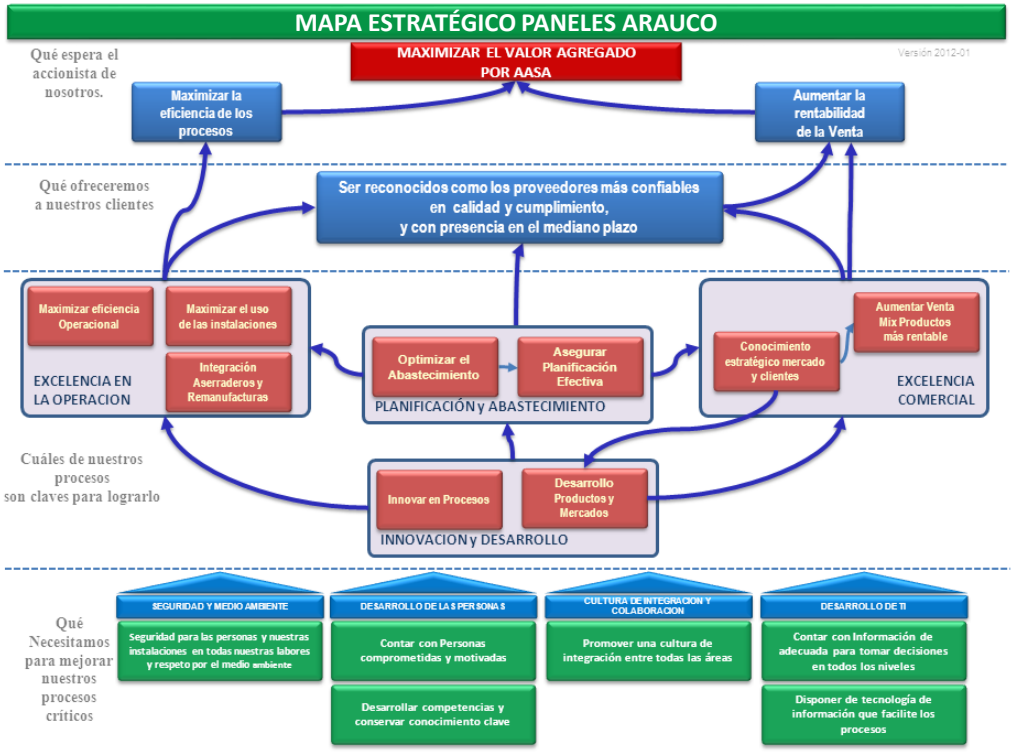
[1] EBITDA: Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization, en español, Utilidad Antes de Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización. Corresponde a los ingresos por actividad económica restando los costos de la actividad económica y los gastos de administración y ventas, Cornejo and Díaz (2006).

En Chile, el negocio Maderas bajo la razón social Paneles Arauco S.A. cuenta con los siguientes plantas:

- Paneles:
  - Teno.
  - Trupan-Cholguán.
  - Terciados Nueva Aldea.
  - Terciados Arauco.
- Remanufactura:
  - Remanufactura Viñales.
  - Remanufactura Horcones.
  - Remanufactura Valdivia.
  - Remanufactura Cholguán II.
  - Vigas Laminadas Cholguán.
- Aserraderos:
  - Aserradero El Colorado.
  - Aserradero Viñales.
  - Aserradero Valdivia.
  - Aserradero Nueva Aldea.
  - Aserradero Horcones I.
  - Aserradero Horcones II.
  - Aserradero Cholgúan.
  - Aserradero El Cruce.

El mapa estratégico de Paneles Arauco se presenta a continuación:

Figura 3.2: Mapa Estratégico Paneles Arauco Negocio Maderas.



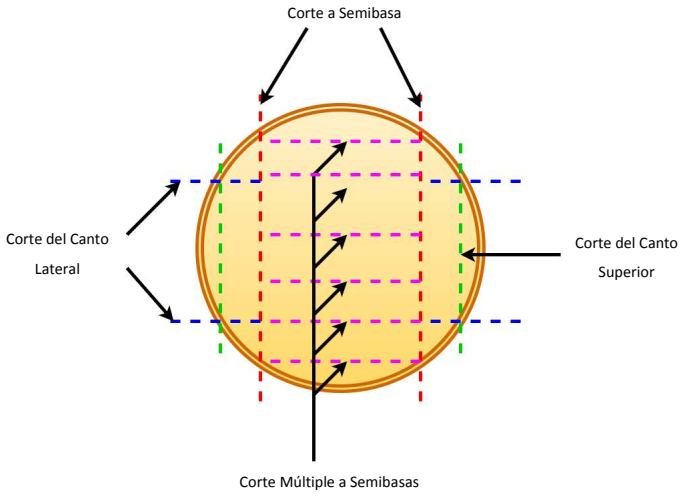
Fuente: Manual de Excelencia Operacional de Arauco.

3.1.3. Aserradero El Cruce

Aspectos Generales de la Planta

Aserradero El Cruce se ubica en la VII Región del Maule provincia de Talca, comuna de Constitución. Frente a la localidad de Santa Olga a una distancia de aproximadamente 24 [km] de la ciudad de Constitución, Cruce Empedrado S/N. En términos corporativos anteriormente pertenecía a Aserraderos Arauco S.A. desde el año 1999, sin embargo como ya se mencionó en la sección 3.1.1 desde el 01 de Diciembre de 2015 comienza a formar parte de Paneles Arauco S.A.. La historia de la planta no es exacta y tampoco existe registro histórico por parte de la empresa. No obstante, los trabajadores con mayor antiguedad establecen que es uno de los aserraderos más antiguos, sino el primero del sector. Se dedica al procesamiento de rollizos[2] de Pino Radiata[3] de diferentes diámetros comprendidos entre 14 [cm] y 22 [cm] y de largo 3,4 , 3,7 y 4,1 [m]. Cuenta con dos líneas de producción paralelas que realizan cortes a basas y semibasas:

Figura 3.3: Cortes realizado a rollizos en líneas de producción.



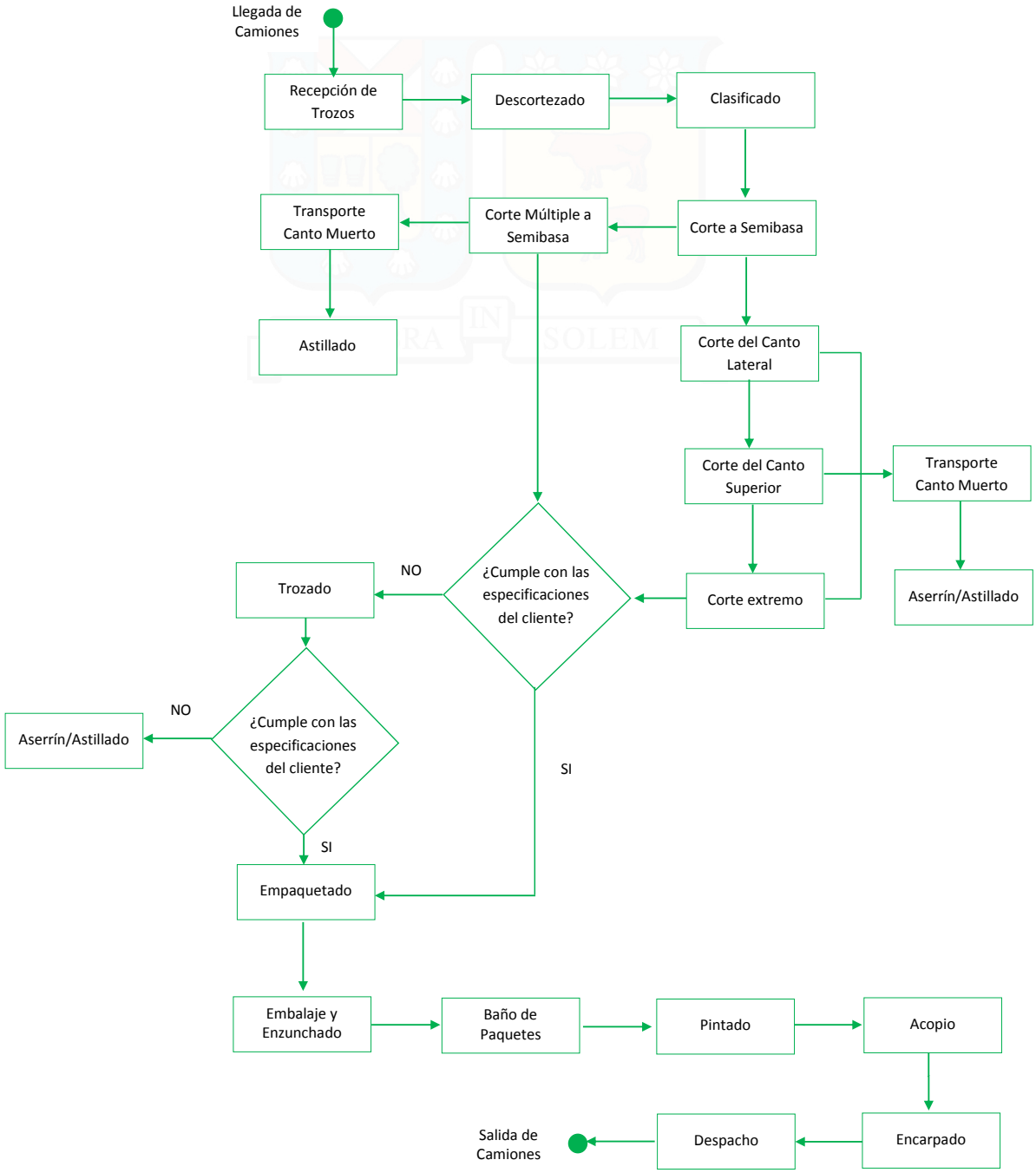
Fuente: Elaboración Propia.

[2]Rollizo: Dícese del madero que tiene forma cilíndrica de tronco.

[3]Pino Radiata: Especie original de California, las plantaciones se encuentran mayormente concentradas en Chile y Nueva Zelanda donde superan 80 % de la superficie total de plantación mundial. Presenta un tronco mayormente cilíndrico en donde entre 25 a 35 años puede alcanzar 30 [m] de altura y 1 [m] de diámetro.

En el ámbito productivo, a continuación se presenta el diagrama de flujo de la planta:

Figura 3.4: Diagrama de flujo.



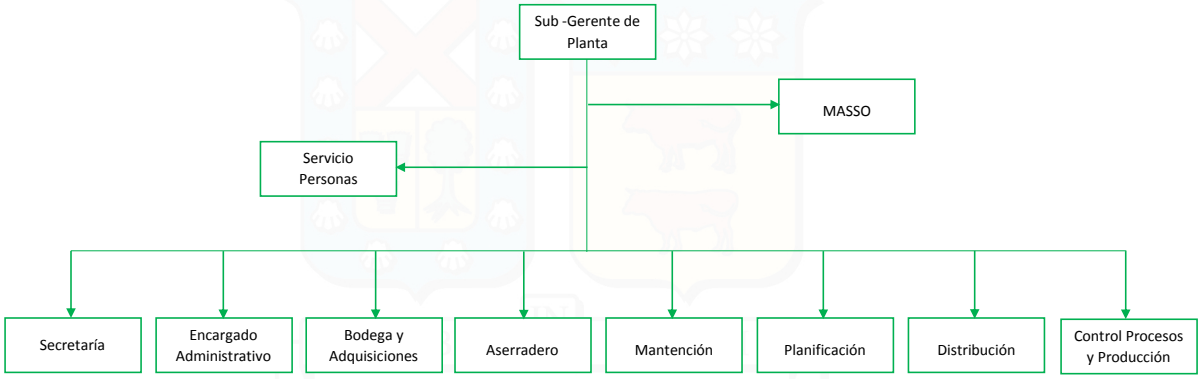
Fuente: Elaboración Propia.

El proceso productivo comienza con la recepción de los rollizos etapa donde se contabilizan para enseguida ser acopiados. Luego según la antigüedad y demanda se seleccionan los troncos para la etapa de descortezado, en donde se retira toda la corteza del rollizo, además son clasificados según diámetro por un escáner para posteriormente pasar a acopio de materia prima sin corteza ordenado por diámetro y la corteza ser transportada a Bio-masa Viñales o a Celulosa Planta Constitución. Una vez estimada la materia prima requerida para los planes de producción se determinan los troncos o trozos que pasarán a la etapa de aserradero, realizando los cortes según la programación de escuadrías. Aquí, se desarrollan los siguientes etapas de dimensionamiento: corte a semibasas, dimensionado múltiple a semibasas, corte del canto lateral, corte de canto superior y finalmente el corte extremo (corte que determina el largo a las piezas)[4]. Cuando la madera no cumple las especificaciones o se encuentra con desperfecto, ingresa a la etapa de trozado, que es donde se cortan en trozos más pequeños que pueden ser útiles para otros pedidos. Por el contrario, si cumple con las especificaciones, se clasifican nuevamente como control de calidad,para luego ser empaquetados, embalados y enzunchados. Luego de haber pasado por los cortes anteriormente mencionados el desecho o canto muerto pasa a la etapa de aserrín y astilla, donde son acopiadas mediante ductos y correas transportadoras respectivamente en los silos correspondientes, para finalmente ser llevados a Bio-masa Viñales o a Celulosa Planta Constitución. Al salir los paquetes de la zona de aserradero pasan a baño en donde se les aplica una capa de material química para que la madera no sufra deterioro por el cambio climático a la que se expone, luego se pasa a pintado en donde se le asigna un color a cada cliente para su fácil identificación y posteriormente pasar a zona de acopio de producto terminado. Una vez que se encuentra todo el pedido fabricado se montan a los camiones destinados al transporte y pasan al galpón de encarpado, para que antes que el camión se retire de la planta el área de despacho verifique si los paquetes enviados cumplen con los requerimientos del cliente y los estándares de Arauco.

[4]Para mayor detalle ver Figura 3.3

Por otro lado, la organización está estructurada de forma departamental como se presenta en la siguiente figura:

Figura 3.5: Departamentos y organigrama general de planta.



Fuente: Elaboración Propia.

- Servicio Personas: Área encargada de encuestar a los trabajadores para medir la calidad de vida laboral, dar a conocer las becas que se ofrecen en Arauco para trabajadores e hijos de trabajadores y de mantener informado de los seguros que posee la empresa. Realizar un seguimiento al personal que tengan gastos en salud, verificar licencias médicas de los trabajadores, atender casos particulares, dar a conocer concursos, gestionar pago de sueldos, revisar e ingresar bonos y descuentos, entre otros.

- Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional (MASSO): Área organizacional cuya misión es cumplir y hacer cumplir las políticas de seguridad y medio ambiente. Entregar charlas de inducción, consolidación de información del plan preventivo, difundir el plan anual de auditorias al GGSM (Grupo de Gestión de Seguridad y Medio Ambiente), comunicar a las otras áreas los registros sobre requisitos legales y otros compromisos a la seguridad y medio ambiente, planificar, coordinar, revisar y publicar la identificación de peligros y riesgos a la seguridad de los trabajadores e instalaciones y aspectos e impacto ambientales, revisar los procedimientos operativos,

de emergencia e instructivos, además de actuar en situaciones de accidente laboral que ocurren dentro de la planta, entre otros.

- Secretaría: Persona encargada de recepcionar y realizar llamadas, coordinar movilización fuera de planta, coordinación de reuniones y sala de reuniones, realizar cartas, memos, pedidos, boletas de honorarios, movilización, hoteles, recepcionar facturas, entre otros.

- Encargado Administrativo: Área encargada de realizar proyecciones de costos mensuales y anuales (plan operativo), encargarse del efectivo con el que se pagan los gastos pequeños de la planta, recepcionar la rendición de gastos y gestión de costos, encargado de gestionar los estados de pago de prestación de terceros permanentes, entre otros.

- Aserradero: Área encargada de ejecutar la planificación y hacer seguimiento de esta misma, monitorear la evolución del programa de producción y ejecutarlo cuando se re quiera. Área en permanente contacto con planificación para la retroalimentación con respecto al avance. Informar al personal de cada turno el programa de producción a ejecutar, coordinación de trabajo de móviles. La importancia de esta área radica en el procesamiento de la materia prima, para luego ser transformada en el producto requerido.

- Mantención: Área organizacional en la que se asignan las prioridades de mantención dependiendo de la programación SAP, coordina con proveedores los repuestos y mantenciones para que las maquinarias se encuentren disponibles en el tiempo previsto para la no paralización del aserradero. Realizar mantenciones de los equipos, en situaciones de emergencia o previstas según la planificación general de la planta, de manera de administrar los recursos que son asignados a este departamento.

- Bodega: Encargada de la verificación y control en bodega, gestionar la solicitud de pedidos, ingreso de servicios al sistema SAP, confeccionar el informe mensual del costo actual de bodega y estar al pendiente de tener en stock los materiales de las áreas de altos requerimientos como mantención y control producción.

- Planificación: Área encargada de diseñar plan de requerimientos diario, semanal, mensual y anual de rollizos de acuerdo a los embarques y requerimientos. Coordinación de maderas hacia otros centros y la llegada de rollizos para producción de forma diaria. Velar por el cumplimiento de cada uno de los estándares de Aserraderos Arauco, además de participar en el desarrollo y evaluación técnica-económica de nuevos productos que potencien el aserradero, siempre considerando el mejoramiento del índice de productividad, rendimiento y factor operacional.

- Control Proceso y Producción: Esta área organizacional se encarga de controlar la calidad de los insumos utilizados en los procesos productivos y también turno a turno revisar la calidad de la producción realizada. Estudiar cada uno de procesos y re-procesos para proponer mejoras, llevar el control de las bodegas existentes en planta, coordinando también el retiro de rechazos del buzón clasificador de trozos, entre otras tareas.

Indicadores de Desempeño del Proceso

Para medir el desempeño operacional de la planta, el aserradero presenta los siguientes *kpi's*[5]:

- Factor de Uso (FU) : Índice que mide la capacidad de uso de las maquinarias mediante el tiempo efectivo utilizado frente al tiempo total disponible a operar. El FU meta es de 90 %.

$$FU = \frac{Tiempo\ Efectivo\ Operativo}{Tiempo\ Total\ Disponible\ para\ Operar}\ \% \tag{3.1}$$

- Ritmo : Ratio que mide si el equipo fue operado a velocidad compatible con la velocidad potencial planificada. El ritmo meta es de 91 %.

$$Ritmo = \frac{Velocidad\ Real}{Velocidad\ Potencial}\ \% \tag{3.2}$$

- Factor de Operación (FO) : Este indicador permite mostrar el tiempo utilizado del tiempo disponible. Mezcla la eficiencia de uso de las máquinas en el tiempo que fueron utilizadas. FO meta de 81 %.

$$FO = FU\ x\ Ritmo\ \% \tag{3.3}$$

- Rendimiento : Cociente entre el volumen de producto final producido y el volumen de rollizos utilizados, en otras palabras, es la porción de madera utilizada del total de volumen de madera disponible.

$$Rendimiento = \frac{Volumen_{producto\ final\ procesado}}{Volumen_{rollizos\ utilizados}}\ \% \tag{3.4}$$

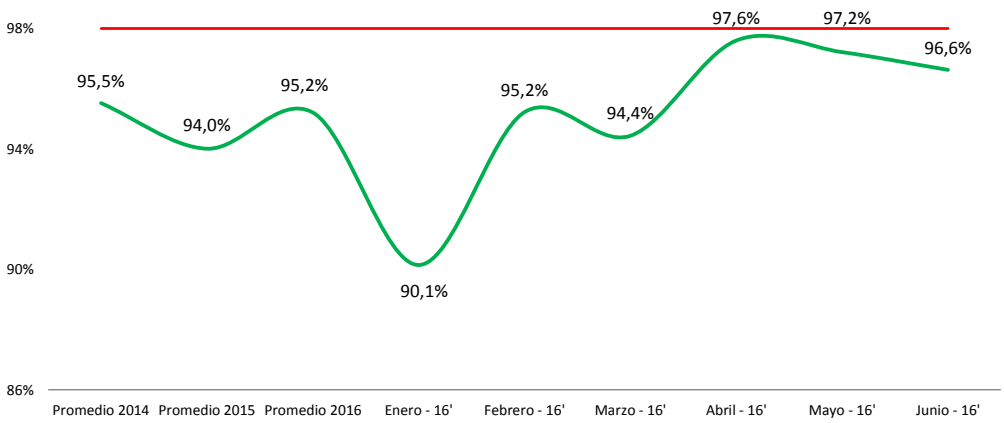
[5] *kpi: Key performance indicator* o medidor de desempeño.

- Índice de Rendimiento (IR %) : Ratio entre el rendimiento real obtenido por aserradero y el rendimiento planificado. El IR % meta es del 98 %.

$$IR\,\% = \frac{Rendimiento_{real}}{Rendimiento_{planificado}}\,\% \tag{3.5}$$

Para observar el comportamiento de este índice, a continuación Riffo (2016) presenta estadística desde el sobre la evolución del IR % para el año 2016:

Figura 3.6: Evolución IR % año 2016.



Fuente: Informe de Gestión de Procesos Aserradero El Cruce, Julio 2016.

Como se aprecia en el gráfico anterior existe un brecha entre el índice de rendimiento objetivo y el índice de rendimiento real de la planta que tiene un promedio para el año 2016 de aproximadamente 95,20 %. Las fluctuaciones de este índice dependen de variables tales como los productos destinados a fabricar dentro del mes, la calidad de la materia prima, la forma en que trabajan los operarios y el estado de las maquinarias utilizadas para trabajar.

Por otro lado, del mismo reporte se obtienen datos con respecto a la valorización de las oportunidades dentro de aserradero.

Tabla 3.1: Resumen general valorización gestión de procesos.

Planta El Cruce - TS09	Valorización Parcial [USD]	Total [USD]	Porcentaje Participación [%]
Total Valorización de Oportunidades		-31.687	100,00 %
Indicador de Rendimiento		-22.596	71,30 %
Pérdida volumétrica	-22.561		
Pérdida por defectos	-34		
Facctor de Operación		-9.091	28,70 %
Pérdida por bajo uso de diseño	-9.091		
Otros costos variables		0	0,00 %
Baño antimancha	0		
Consumo de vapor	0		
Consumo de energía eléctrica	0		

Fuente: Informe de Gestión de Procesos Aserradero El Cruce, Julio 2016.

Es posible notar que dentro de las oportunidades dentro de aserradero el rendimiento representa el 71,30 % de estas, valorizada en pérdidas de -22.596 [USD]. Dado lo anterior es que es posible establecer que en esta zona se pueden encontrar oportunidades de mejora y que conlleven a un aumento del índice de rendimiento de la planta y una disminución del costo de oportunidad asociado a este mismo índice.

3.2. Base Teórica

3.2.1. Life Cycle Cost

Arata and Stegmaier (1999) define los Life Cycle Cost (LCC) o Costos del Ciclo de Vida son los costos presentes a través de toda la duración de un proyecto de inversión. De esta forma, se pueden clasificar como:

- Costos de inversión: Costos calculados en la etapa de planificación de un proyecto, están comprendidos por costos de capital fijo, compuesto principalmente por infraestructura y equipos, y costos de capital de trabajo, costos en los que se incurren para que una planta inicie su funcionamiento y opere normalmente sin comprometer la "salud financiera" de la misma.
- Costos de operación: Costos para que una planta funcione por un determinado periodo de tiempo.
- Costos de ineficiencia: También llamado costo de falta, son los ingresos que se dejan de percibir por la producción no fabricada debido a detenciones, inactividad o falla de la planta.

Debido a esto, es que se definen los costos globales como la suma de los costos de inversión, costos de operación y costos de ineficiencia:

$$C_{Globales} = C_{Inv} + C_{Op} + C_{Inef} \tag{3.6}$$

$$C_{Globales} = C_{Inv} + [C_{Op} + (1 - A_S) * H * C_i] * F_a \tag{3.7}$$

En donde:

C_{Inv} = Costos de inversión.

C_{Op} = Costos de operación.

C_{Inef} = Costos de ineficiencia.

A_S = Disponibilidad del sistema.

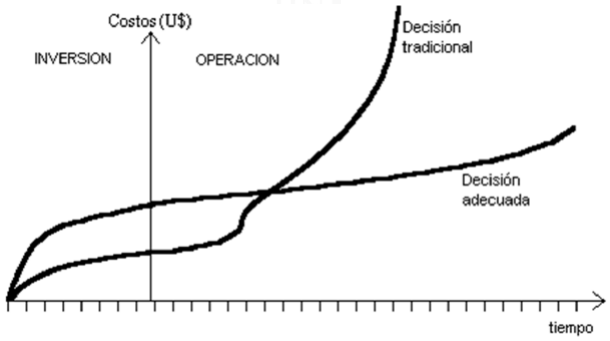
H = Tiempo de operación en el periodo de evaluación.

C_i = Costos de ineficiencia por unidad de tiempo.

F_a = Factor de actualización.

En los apuntes de la asignatura *Ingeniería de Plantas Industriales* dictado en la Universidad se presenta una representación gráfica de como se distribuyen los costos para plantas en las que no se considera el costo de ciclo de vida y en las que si se toma la decisión de considerar todos los costos ya mencionados:

Figura 3.7: Costos durante el ciclo de vida de un proyecto.



Fuente: Apuntes asignatura Ingeniería de Plantas Industriales.

De la gráfica anterior es posible desprender que un proyecto o planta que considera los costos del ciclo de vida en totalidad utiliza menos recursos financieros que una planta o proyecto que utiliza un enfoque tradicional, ya que la última al presentarse un imprevisto aumenta los costos de ineficiencia. Es por esto que la utilización de modelos que permitan establecer estos costos se vuelve de vital importancia para un empresa con respecto a una asignación eficiente de recursos.

3.2.2. Confiabilidad Operacional

Para poder precisar el término de confiabilidad operacional, primero es necesario establecer el contexto en el cuál se desarolla. Así Arata (2001) expresa que la globalización ha llevado que una empresa pueda encontrar oportunidades dado la gran fuente de información existente por el avance tecnológico e informático que repercute a mayores exigencias en el ámbito productivo dado el desarrollo tecnológico y la variabilidad de los consumidores. Por lo anterior, es que las empresas compiten internacionalmente con empresas de clase mundial de su mismo rubro, por lo que deben estar permanentemente en proceso de diferenciación para alcanzar la competitividad empresarial.

Bajo este marco de variabilidad y constante cambio de los requerimientos se requiere que la organización sea lo suficientemente flexible en términos de procesos y de la estructura organizacional que soporta al sistema productivo mediante *Lean Production* y *Lean Organization*.

A su vez competitividad es la habilidad de vender, producir, satisfacer al cliente y adaptarse de manera sustentable en el tiempo gracias a la generación de ventajas competitivas que permiten competir y ser más eficiente, eficaz, efectivo e innovador que los competidores nacionales e internacionales maximizando el valor económico de la empresa Arata (2009).

Esta maximización del valor de la empresa no sólo se puede alcanzar con los costos tradicionales considerados en una evaluación de proyectos denominados como costos de inversión, asumiendo que los activos operan al 100 % y para incorporar la variabilidad de estos se incluyen factores de seguridad de forma aproximada por el evaluador. Sino que en este nuevo contexto es necesario tener en cuenta los costos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (LCC), es decir, los costos de inversión, operación e ineficiencia en donde estos últimos no son generalmente visibles y que en empresas intensivas de utilización de activos impactan directa y altamente a la competitividad de la empresa.

En este ambiente la **Confiabilidad Operacional** ” es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites de diseño y las condiciones operacionales ” Arata (2009). Variados autores como por ejemplo Sexto (2008), plantean 4 ejes que conforman la Confiabilidad Operacional, sin embargo Arata (2009) agrega un quinto eje, los cuáles se detallan a continuación:

I. Confiabilidad Humana: Capacidad de la organización para permitir a los trabajadores según sus competencias y capacidades recuperar las fallas técnicas y problemas en la ejecución de las tareas del correspondiente puesto de trabajo.

II. Confiabilidad de los Proceso: Capacidad de la organización para operar dentro de los parámetros establecidos dentro de la planificación.

III. Confiabilidad de los Activos: Capacidad de la organización para determinar la disponibilidad de sus equipos, estrategias de mantenimiento y configuración de los activos con el objetivo de extender el tiempo promedio entre fallas (*Mean Time Between Failures - MTBF)*.

IV. Mantenibilidad de los Activos: Capacidad de la organización para disminuir el tiempo promedio para reparar *(Mean Time To Repair - MTTR)* como también analizar la efectividad del apoyo de mantención.

V. Confiabilidad de los Suministros: Capacidad de la organización para integrar cada una de sus áreas de manera que permita a cada uno de ellas contar con el suministro adecuado para la correcta operación.

Si bien entender el contexto y los objetivos en los que se establece el modelo de confiabilidad operacional es de relativa facilidad, la aplicación real de estos no se vislumbra completamente para organizaciones que desean aplicar este modelo. Es por esto que surge la necesidad de estudiar herramientas que permitan tener un claro entendimiento de la situación actual de la organización y que alineen con las componentes del modelo a aplicar.

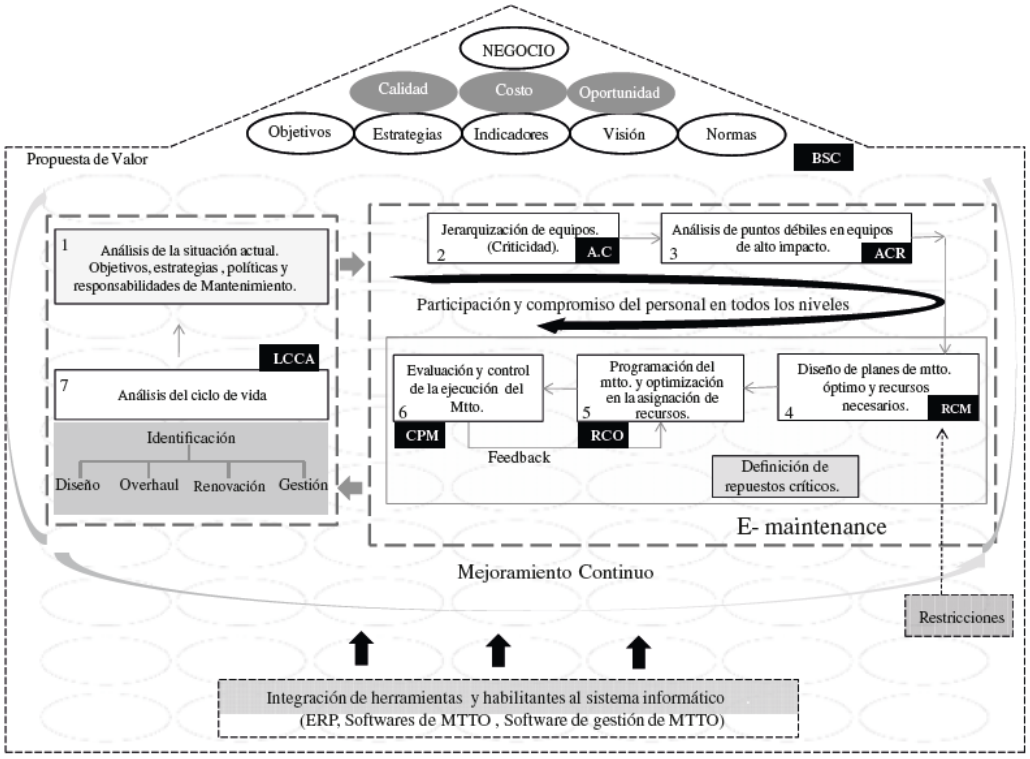
3.2.3. Herramientas y Procedimientos de Análisis

Modelo de Gestión de Mantenimiento

Como ya se ha explicado el modelo de Confiabilidad Operacional en cada una de sus componentes busca que una organización trabaje dentro de los parámetros planificados, de manera que sus costos globales se vean disminuidos mediante la consideración de los costos de ineficiencia y que llevarán a la organización alcanzar la competitividad en una industria cada vez más globalizada.

Dado lo anterior es que (Barberá et al., 2012) propone un modelo de gestión de mantenimiento enmarcado en las directrices de la Confiabilidad y Mantenibilidad de Activos bajo mejora continua en el tiempo, no obstante dentro de su análisis previo es posible aplicar a más de un eje de la Confiabilidad Operacional. A continuación se presenta un esquema en donde se puede observar las 7 etapas que componen el modelo:

Figura 3.8: Modelo de gestión de mantenimiento.



Fuente: Paper Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy.

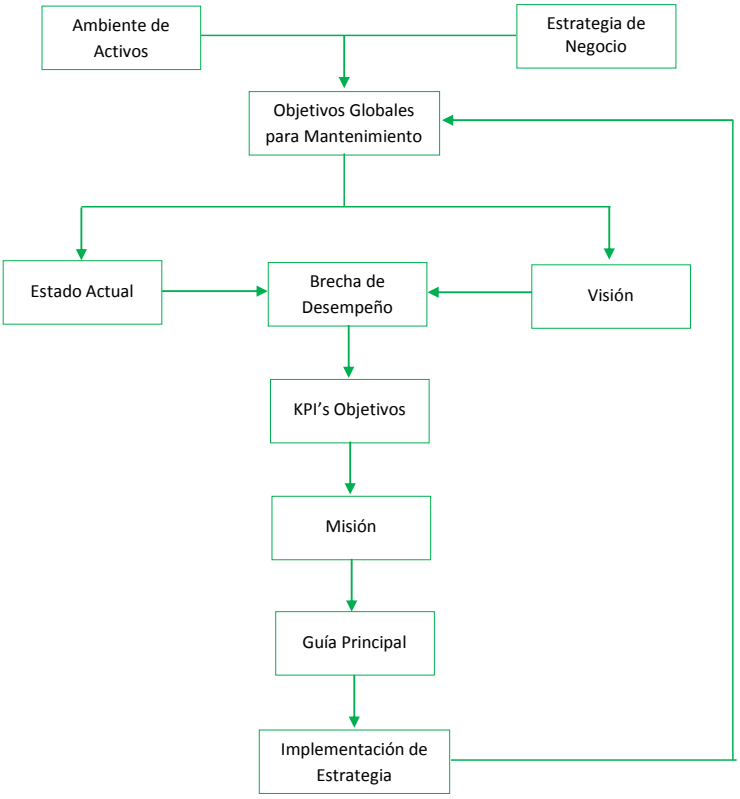
Las etapas del modelo de gestión anteriormente expuesto son:

- Etapa 1. Análisis de situación actual.
- Etapa 2. Jerarquización de equipos.
- Etapa 3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto.
- Etapa 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios.
- Etapa 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos.
- Etapa 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento.
- Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos.

No obstante, las etapas del modelo de gestión útiles para el análisis de una empresa con respecto a la confiabilidad operacional son:

- Etapa 1. Análisis de situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento: Para esta etapa se debe analizar la situación actual de la empresa con respecto a los modelos de gestión de mantenimiento actuales o analizar todos los aspectos del mantenimiento en caso que no presenten modelo de gestión y establecer los objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento mediante el siguiente modelo:

Figura 3.9: Modelo para definición de estrategia de mantenimiento.



Fuente: Paper Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy.

Por otro lado es aquí también donde entra en juego la teoría de confiabilidad aplicada a sistemas. Para comenzar se detallarán una serie de definiciones que establece Arata (2009) y que modelan la confiabilidad y permite caracterizar al sistema productivo actual:

- *Confiabilidad*: Probabilidad que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones preestablecidas.
- Tiempo al cual falla un equipo es modelado por una variable aleatoria.
- $f(t)$, función de falla, probabilidad que un elemento falle en un instante "t".
- $F(t)$, probabilidad acumulada de falla, probabilidad que un equipo falle en el intervalo [0,t].
- $R(t)$, confiabilidad, probabilidad que un equipo funcione sin fallar hasta antes del instante "t".
- Se puede establecer una confiabilidad de un sistema "S" dependiendo de la confiabilidad de cada una de sus componentes y la configuración que presenten estas, como $R_S(t)$. A continuación se detallan las fórmulas para las distintas configuraciones:
  - Sistema en Serie: El fallo de cualquier equipo o subsistema bajo esta configuración provoca una detención total del sistema al que forma parte.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \tag{3.8}$$

  - Sistema en Paralelo: Relaciona a dos o más equipos siendo cada uno de ellos capaz de soportar la carga total de la etapa del proceso.

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} F_i(t) \tag{3.9}$$

  - Sistema en Stand By: En un instante de tiempo funciona sólo un componente y los demás están en espera hasta el momento de fallar, en donde

todos los componentes tienen la capacidad de soportar toda la carga.

$$R_s(t) = e^{-\lambda t}(1 + \lambda t) \tag{3.10}$$

- Sistema en Redundancia Parcial: Configuración compuesta por "n" equipos, de los cuales se requiere una fracción para la correcta operación del proceso productivo.

$$R_s(t) = \mathbb{P}[r \leq j \leq n] = \sum_{j=r}^{n} R(t)^j (1 - R(t))^{n-j} \tag{3.11}$$

- Sistema en Fraccionamiento: Configuración en donde dos o más equipos se reparten la carga total de trabajo según una ponderación en donde generalmente asociada a capacidad productiva de los equipos.

$$R_s(t) = \sum_{i=1}^{n} R_i(t) \times I_i \; + \left(1 - \sum_{i=1}^{n} I_i\right) \times \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \tag{3.12}$$

- $\lambda(t)$, tasa de falla, probabilidad de tener una falla de un equipo entre los instantes "t" y "t+Δt" dado que el equipo funcionó hasta el instante "t".
- *Mean Time Between Failure*, tiempo medio entre falla.
- *Mantenibilidad*: Facilidad del desarrollo de una reparación o mantenimiento, afectada por tiempos de preparación, localización de fallas, obtención de piezas y materiales necesarios, reparación, montaje, comprobación y limpieza entre otros.
- *Mean Time To Repair* ($MTTR$), tiempo promedio de no disponibilidad después de la falla.
- *Disponibilidad Esperada*: Posibilidad de utilizar un equipo dentro del tiempo total en que se está a disposición efectiva para operar.

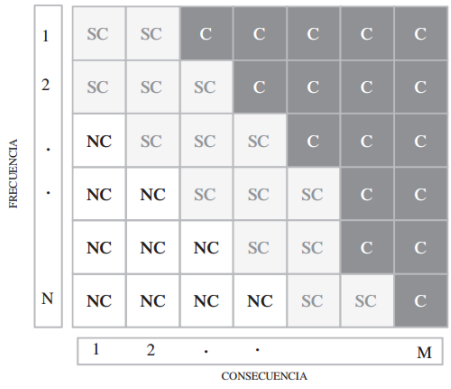
$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{3.13}$$

El resultado final en esta etapa será la fabricación de un programa que especifique todas las tareas a desarrollar y con los recursos asignados para la realización de ellas.

- Etapa 2. Jerarquización de equipos: Ya caracterizados los activos de una planta, es necesario discretizar los equipos en base a la criticidad o riesgo que suponen estos para una potencial falla, clasificándose como Críticos (C), Semi-crítico (SC) y No Crítico (NC). Para esto existen técnicas cualitativas y cuantitativos que detalla Barberá et al. (2012) y que permitan establecer esta distinción entre los activos:

  - *Métodos cualitativos*: Son métodos basados en opiniones de expertos que combinan criterios técnicos y financieros para establecer consecuencias y complejidad. Para procesos simples son efectivos, sin embargo para procesos de mayor complejidad es necesario validar la información recolectada.
  - *Métodos cualitativos – cuantitativos*: Este tipo de método mezcla elementos cuantitativos para la criticidad como número de fallas y la consecuencia de la falla en donde finalmente se genera la matriz genérica de criticidad en donde sus ejes están compuestos por las variables anteriormente especificadas. Por otro lado, el factor cualitativo está representado por la escala que represente a los resultados obtenidos anteriormente, como se aprecia en la siguiente gráfica:

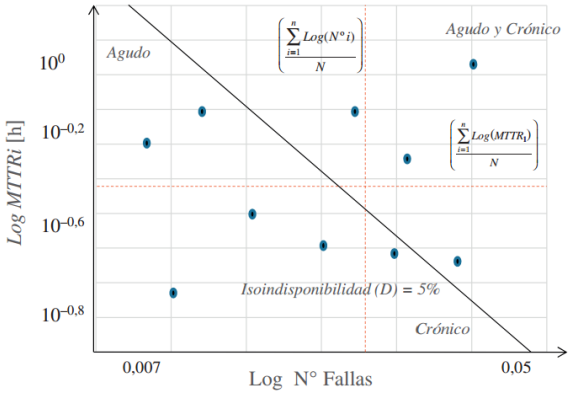
Figura 3.10: Matriz génerica de criticidad.



Fuente: Paper Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy.

- *Métodos cuantitativo*: Esta metodología presenta un enfoque numérico y probabilístico para evaluar la criticidad de los activos. Busca jerarquizar mediante la disponibilidad esperada de las componentes (confiabilidad y mantenibilidad) y costos asociados. El método de Jack-Knife detallado en Knights (2004) es un estudio que involucra variables como frecuencia de ocurrencia de falla, número de fallas, MTTR, costos, etc. Así este método realiza un gráfico de dispersión con ejes en escala logarítmica MTTR versus número de fallas, generando propuestas de mejora según la distribución presente en el gráfico, para mayor detalle se presenta una imagen referencial:

Figura 3.11: Gráfico dispersión de Jack-Knife.



Fuente: Paper Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy.

En donde:

$MTTR_i$ = Tiempo medio para reparación del modo de falla i.

$N^o i$ = Número de intervenciones del modo de falla i.

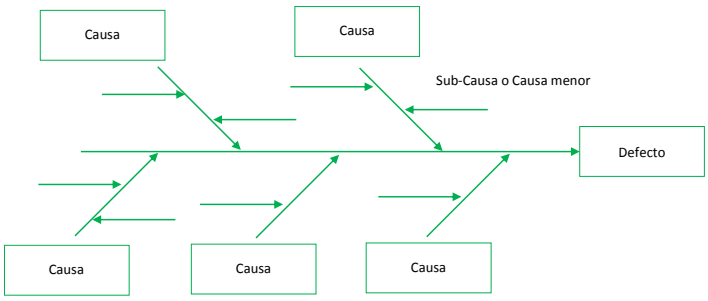
$\frac{\sum_{i=1}^{n} Log(N^o i)}{N}$ = Promedio del logaritmo del número de intervenciones de los N modos de falla.

$\frac{\sum_{i=1}^{n} Log(MTTR_i)}{N}$ = Promedio del logaritmo del tiempo medio para reparación de los N modos de falla.

- Etapa 3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto: Una vez realizada la etapa anterior pero antes de establecer los planes de mantenimiento es necesario analizar las fallas y si existe algún patrón o ciclicidad en estas para los activos clasificados como críticos y semi-críticos. En este apartado es importante el conocimiento del operario que utiliza el equipo a estudiar. Identificar la causa inicial de las fallas que tienen un mayor impacto en tiempo perdido puede permitir eliminar el modo de falla y que contribuirá a disminuir los costos de ineficiencias. Para realizar el análisis de puntos débiles existen herramientas como:

  - *Técnica de Ishikawa*: Diseñado por el japonés Kaoru Ishikawa en el año 1943, es una representación gráfica para identificar las causas de un problema de forma esquemática y de fácil compresión, Johns (2014). Llamado como el método de espina de pescado dada la forma en que se estructura:

Figura 3.12: Diagrama de Ishikawa.



Fuente: Apuntes asignatura Gestión de Calidad Total.

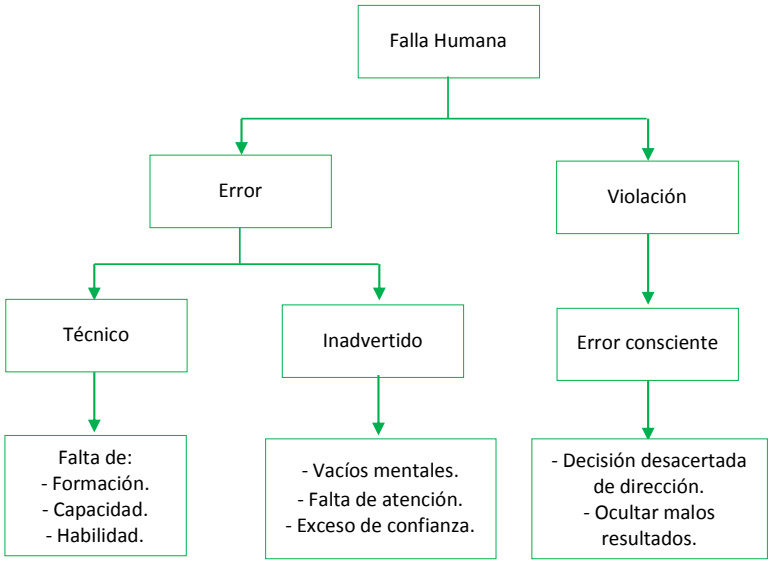
  - *Análisis Causa Raíz* (*ACR*): Esta metodología intenta identificar las causas primarias de las fallas, en general está metodología comenzaba con el establecimiento de un problema crónico, luego se determinan los modos de fallas para en el siguiente paso establecer hipótesis y finalmente llegar al nivel de causa.

Una vez establecido el modelo de gestión de mantenimiento, se debe requerir que los insumos para realizar dichas tareas se encuentren a disposición del personal. El manejo eficiente de inventario hará que exista menor capital inmovilizado, es por esto que la realización de una buena estrategia de abastecimiento permitirá agregar valor a la empresa en términos de competitividad. Por otro lado se debe evitar asumir que el comportamiento de los activos se debe solamente a las características de ellos, ya que las personas la gestionan, operan y mantienen también influyen en los activos.

Herramientas para la Confiabilidad Humana

Generalmente en las fallas de los equipos y salida de producto final en mal estado se le asigna mayor parte de la responsabilidad al trabajador que opera el activo. Sin embargo, si se está presente en el caso de error humano, este es resultado final de una serie de errores que tiene su punto de inicio un mal diseño de planta, equipos y procesos. En ese sentido la confiabilidad humana es el conjunto de elementos, inherentes de las aptitudes labores, que tiene como objetivo predecir, analizar y reducir el error humano teniendo en cuenta el rol del personal en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema, Arata (2009). Dado lo anterior es que es posible clasificar los tipos de fallas como se observa en la siguiente figura:

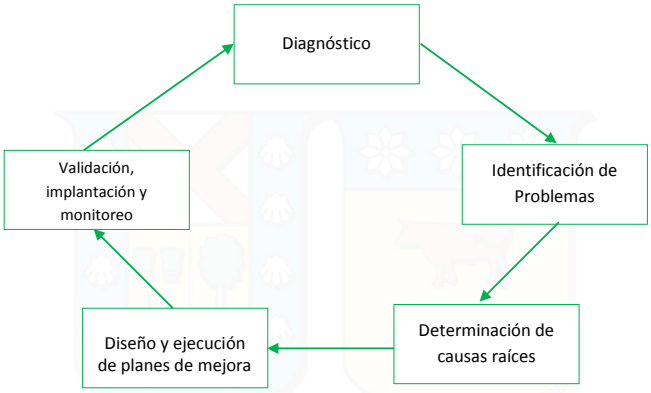
Figura 3.13: Clasificación de falla humana.



Fuente: Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales.

Pons et al. (2013) plantea un proceso de mejoramiento de la confiabilidad humana que sigue los siguientes pasos:

Figura 3.14: Proceso de mejoramiento de la confiabilidad humana.



Fuente: El análisis de la fiabilidad humana en la mejora de procesos.

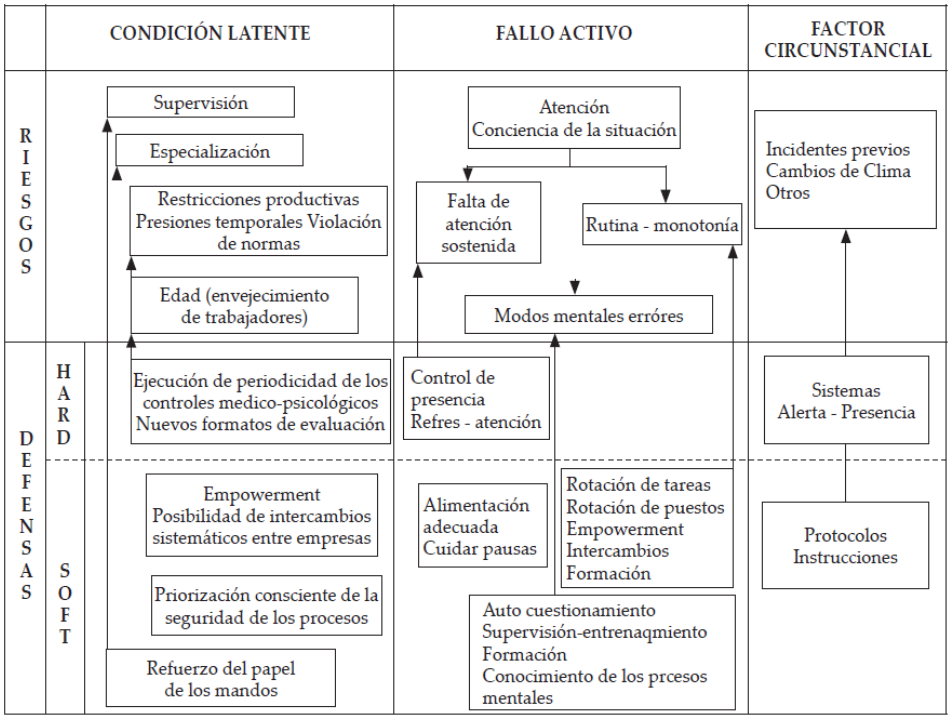
Así se tienen las siguientes actividades y herramientas para cada una de las etapas:

- Diagnóstico:
  - Actividades: Determinación de la ocurrencia de errores humanos en el proceso.
  - Herramientas: Estadística de fallos, criterio de expertos, entrevistas selectivas, benchmarking, entre otros.
- Identificación de problemas:
  - Actividades: Identificación y jerarquización de los errores humanos en función de su impacto.
  - Herramientas: Método de jerarquización, diagrama de Pareto, entre otros.
- Determinación de causas raíces:
  - Actividades: Identificación de las causas raíces de los errores humanos, medición del clima organizacional.
  - Herramientas: Árboles de fallos, análisis causa raíz, entre otros.

- Diseño y ejecución de planes de mejora:
  - Actividades: Elaboración de plan jerarquizado de medias, cuantificación de recursos y compromisos.
  - Herramientas: Planes de mejora, diseño de experimentos, benchmarking, trabajo en equipo, etc.
- Validación, implantación y monitoreo:
  - Actividades: Validación de resultados, ajustes de planes, establecimiento de indicadores, elaboración de planes futuros de mejora, etc.
  - Herramientas: Criterio de expertos, planes de control, técnicas de evaluación, etc.

Para cada tipo de error o falla Sebastián (2009) plantea el siguiente diagrama de control de fallos para prevenir la ocurrencia de estos mismos:

Figura 3.15: Diagrama de control de fallos.



Fuente: Fallo humano: la quiebra de un paradigma.

Luego de realizar el análisis de los activos y del capital humano, es necesario observar el comportamiento de ambos desde el punto de vista de un proceso como tal, para esto en la siguiente sección se revisarán procedimientos que permitan observar el comportamiento de los mismos y establecer si están dentro de los parámetros establecidos.

Control Estadístico de Procesos

El control estadístico de proceso es la ”aplicación de métodos estadísticos que permite el seguimiento, control y posterior mejora de los procesos de transformación con el objetivo de mejorar la calidad de respuesta de este mismo entorno a la variabilidad del mismo proceso.” Vilar (2005).

La variabilidad genera desviaciones con respecto a las especificaciones que pueden generar problemas de calidad. Estas variaciones pueden ser atribuibles a dos tipos de causas:

- Causas Random: Son un alto número de causas individuales que generan un impacto insignificante. La eliminación no es económicamente atractiva. Finalmente si un proceso presenta solo causas random se establece que está ”bajo control estadístico”.
- Causas Asignables: Son un número bajo de causas que generan una alta variación. Son detectables y atractivas económicamente. De existir una de estas causas se dice que el proceso está ”fuera de control estadístico”.

Los gráficas de control permiten observar el desempeño de un proceso según los límites de control estadístico. Las gráficas utilizadas para el análisis será la $(\bar{X}, R)$.

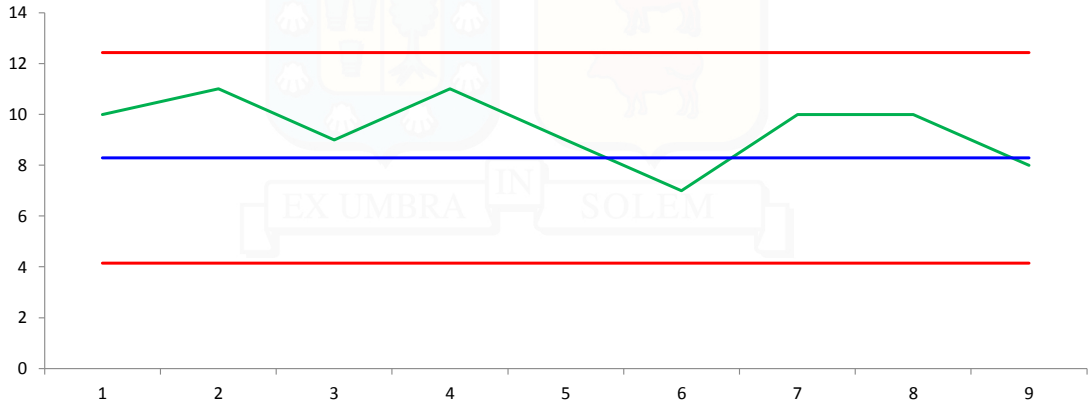
- Gráfica $\bar{X}$ o de Promedio Muestrales:
  - Línea Central (LC): $\bar{\bar{X}}$.
  - Límite Inferior (LCI): $\bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$.
  - Límite Superior (LCS): $\bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$.
- Gráfica R o de Rangos Muestrales:
  - Línea Central (LC): $\bar{R}$.
  - Límite Inferior (LCI): $D_3 * \bar{R}$.
  - Límite Superior (LCS): $D_4 * \bar{R}$.

Donde A_2, D_3 y D_4 son constantes tabuladas[6], $\bar{R}$ promedio de rangos muestrales y $\bar{\bar{X}}$ promedio de los promedios muestrales.

[6]Ver anexo A.1

A continuación se presenta un ejemplo de carta de control, en donde si se está dentro de los límites se encuentra ”bajo control estadístico” y por el contrario si alguna muestra se encuentra fuera de los límites se establece que el proceso está ”fuera de control estadístico”.

Figura 3.16: Carta de control.



Fuente: Elaboración Propia.

Ya establecido herramientas de análisis, debe encontrarse la manera de no estudiar toda la población de cada una de las variables. Para esto, en el siguiente apartado se explicarán métodos para obtener muestras significativas a partir de una población bajo fundamentos estadísticos.

Determinación de muestra

”La determinación del tamaño muestral en una investigación es de vital importancia, tanto para caracterizar la distribución de la variable, como para fijar el grado de precisión del estudio” (Valdivieso et al. (2011)).

Dado esto, es que el autor plantea la siguiente ecuación para establecer la muestra óptima mediante una proporción norma o patrón de la población:

$$n = \frac{N * Z^2_{\frac{\alpha}{2}} * p * q}{Z^2_{\frac{\alpha}{2}} * p * q \ + \ e^2 * (N-1)} \tag{3.14}$$

En donde:

n = Tamaño de muestra.

N = Tamaño total de la población.

α = Nivel de significancia, generalmente 0,05.

$Z^2_{\frac{\alpha}{2}}$ = Valor crítico de un área de cola superior de $\alpha/2$ de una distribución normal estándar.

p = Probabilidad de ocurrencia de un evento. Si no se tiene información sobre estudios del mismo tipo se estima que este valor corresponde a 0,5.

q = Probabilidad de no ocurrencia de un evento $(1 - p)$. Si no se tiene información sobre estudios del mismo tipo se estima que este valor corresponde a 0,5.

e = Error aceptado para la muestra obtenida.

3.2.4. Lean Manufacturing

Feld (2002) explica que *Lean Manufacturing* o ”Producción Limpia”, ”Manufactura Esbelta”, entre otros, es un modelo de gestión de mejoramiento continuo que inició la empresa automotriz Toyota a principios de los años 70’ llamado *Toyota Production System ”TPS”* encabezado por los ingenieros Shigeo Shingo y Taiichi Ohno, con el objetivo de competir con las empresas de automóviles de Estados Unidos que en esos años lideraban el mercado automotriz.

En este contexto *lean manufacturing* busca aumentar la eficacia de una organización mediante la eliminación de desperdicios dentro de la cadena de valor de un proceso, favoreciendo el flujo continuo y sólo produciendo lo que se demanda o ”sistema pull” que evita la generación de stock innecesario.

Dado lo anterior es que ”Lean” establece 8 tipos de desperdicios que se producen dentro de una empresa, estos son:

1. Sobre-producción: Desperdicio asociado a producir una mayor cantidad requerida por el cliente.

2. Tiempo de espera: Desperdicio asociado a tiempo de espera por falla de máquinas o por falta de materiales para la producción.

3. Transporte: Desperdicio asociado al traslado de materiales o productos de un lado a otro.

4. Sobre-procesamiento: Desperdicio asociado a realización de procesos innecesarios, utilizar herramientas y/o equipos inapropiados.

5. Exceso de inventario: Desperdicio asociado a altos niveles de inventario entre procesos o producto terminado.

6. Defectos: Desperdicio asociado al re-procesamiento por desconformidades por el cliente.

7. Movimientos: Desperdicio asociado a cualquier movimiento que no genere valor al producto.

8. Potencial Humano infrautilizado: Desperdicio asociado al no aprovechamiento de conocimientos y capacidades del equipo de trabajo.

Para el Negocio Paneles de Arauco, la filosofía *Lean Manufacturing* esta incluida dentro del Modelo de Gestión de Excelencia Operacional específicamente en el programa Operación Impecable, en donde se utilizan herramientas como Agentes de Cambio, SMED, Inhibidores de Sistema, 5'S, entre otros. A continuación se describirán algunas herramientas de *Lean* que se utilizarán en el presente trabajo de memoria para el posterior diseño de estrategias y planes de acción.

3.2.5. Herramientas de Lean Manufacturing

5'S

"Herramienta *Lean* de mantenimiento integral de un lugar de trabajo y la optimización de procesos por medio de una cultura de disciplina y orden" Arauco (2015). Está basado en 5 ejes:

- **S**eiri (Clasificar): Separar elementos necesarios de los innecesarios y eliminar los últimos.
- **S**eiton (Ordenar): Organizar los elementos necesarios de manera que se encuentren y retornen con facilidad.
- **S**eiso (Limpieza): Limpiar e inspeccionar el entorno para identificar los defectos y eliminarlos de manera de anticiparse para prevenir defectos.
- **S**eiketsu (Estandarización): Establecer procedimientos y métodos de manera que las tres primeras **S**'s sean respetadas por todos.
- **S**hitsuke (Disciplina): Convertir en hábito los métodos estandarizados y aceptar la aplicación de forma autodisciplinaria.

Esta herramienta presenta beneficios en términos de seguridad pues se generan ambientes demarcados y limpios, en términos de calidad existe mayor visibilidad de errores o desviaciones y en términos de desempeño existe aumento de productividad pues disminuyen las pérdidas de tiempo y disminuyen las fallas.

Just in Time

Ohno (1991) plantea el sistema de producción *Just in Time* o "JIT" centrado en tener un nivel mínimo de inventario gracias a que los proveedores abastecen los insumos en el momento adecuado para la fabricación de productos para cuando estos se necesiten.

Los objetivos de Just in Time son:

- Poner en evidencia los problemas fundamentales.
- Eliminar despilfarros que no añadan valor.
- Buscar la simplicidad para una gestión eficaz.
- Diseñar sistemas para identificar problemas.

Esta herramienta de *Lean Manufacturing* tiene los siguientes beneficios para una organización:

- Disminución de costos por sobre-estimación de inventario.
- Aumento de rotación de inventario.
- Reducción de pérdidas de material.
- Ahorro en los costos de producción.
- Materiales llegan cuando deben ser utilizados.
- Mejora la productividad global de la organización.

4 | Metodología

La metodología a utilizar en el presente trabajo de memoria será ocupando en su primera parte como herramienta de análisis el modelo de Confiabilidad Operacional. Los 5 ejes que lo componen se estudiarán bajo 4 análisis: confiabilidad y mantenibilidad de los activos, confiabilidad del proceso, confiabilidad de los suministros y confiabilidad humana.

El principal foco de atención será relacionar cada uno de las componentes con el proceso de aserrado de la madera, estos es, activos que participan del proceso de aserrado, el proceso de aserrado como tal, análisis del principal suministro del aserrado: rollizos de pino radiata y el análisis de las actividades de las personas que influyen durante el proceso de aserrado.

Para esto, se realizará en primer lugar entrevistas con los jefes de área de la planta con el objetivo de entender cada una de las funciones de estas, conocer las bases de datos con las que disponen y fuentes de información para ir adquiriendo conocimiento técnico del proceso de aserrado. Junto con esto visitas a terreno que permitan ir conociendo desde una perspectiva práctica y que facilitan el encuentro de oportunidades. Además el realizamiento de estudios que ayuden a contrarrestar escenarios.

Una vez encontrados los puntos de análisis se valorizarán las oportunidades en lo posible por la ineficiencia del aprovechamiento de materia prima (Rendimiento) y en términos monetarios.

Finalmente, para la creación de planes de acción se priorizarán las oportunidades en términos de costo de oportunidad monetario e impacto en la actual forma de actuar de la organización. De esta forma y una vez establecido los puntos de oportunidades se establecerán planes y/o estrategias bajo la filosofía *Lean Manufacturing* estructuradas con herramientas de este modelo de gestión.

5 | Desarrollo

Una vez contextualizado la planta, precisar los conceptos de confiabilidad operacional, presentar herramientas que permiten estudiar las componentes de esta última y la metodología a utilizar, en el presente capítulo se procederá a analizar la situación actual de cada una de las componentes de la confiabilidad operacional y como se pueden relacionar con la pérdida de rendimiento.

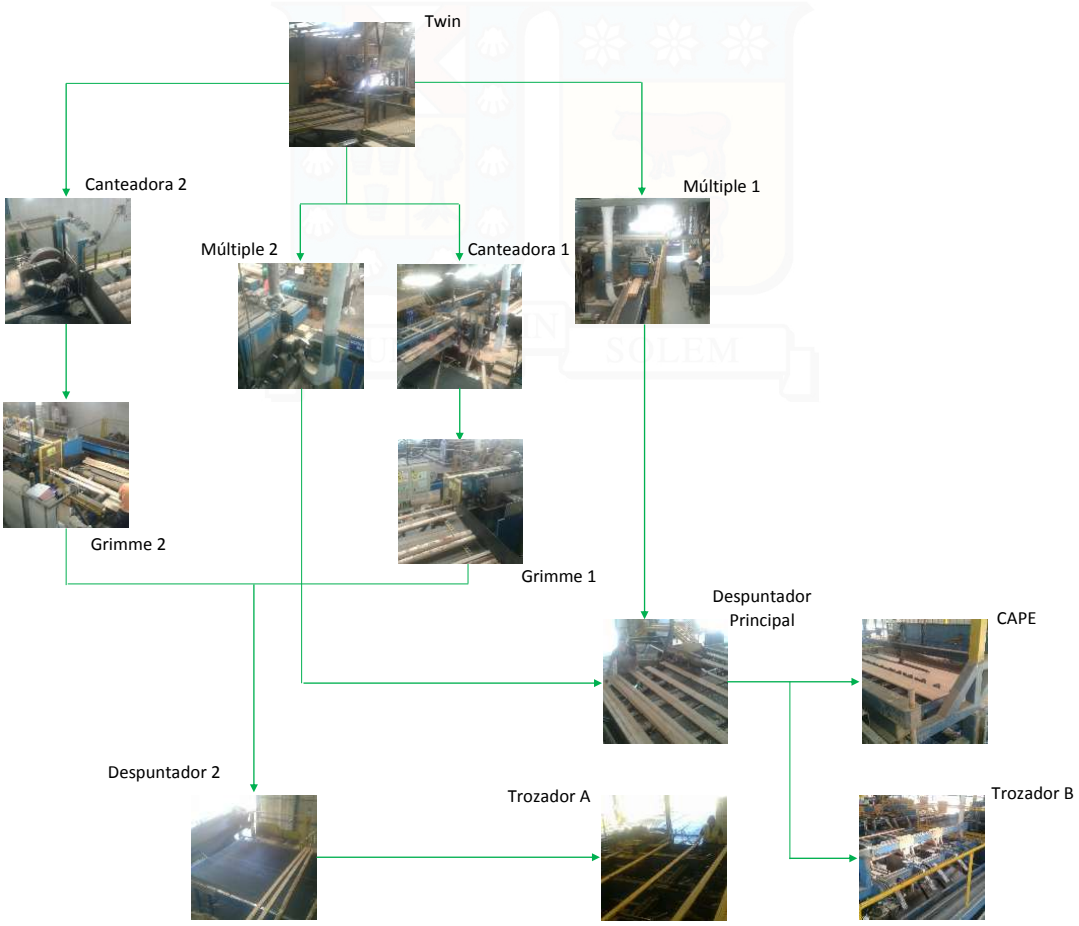
5.1. Confiabilidad y Mantenibilidad de los Activos

Siguiendo el método de análisis propuesto en 3.2.3, el ambiente en el que se desempeñan los activos es en un proceso de manufactura continuo, este proceso se encuentra operativo durante las jornadas laborales compuestas por dos turnos de trabajo: Turno día (8:00 am a 17:55 pm) y turno noche (22:30 pm a 7:55 am). Los activos que son partícipes del proceso de transformación de la materia prima en producto final terminado son:

- Banco doble Twin Saw sierra circular marca MIT S.A.
- Sierra múltiple A Costa Mod Jaguar 2/100 serie 911 AT
- Sierra múltiple A Costa Mod Pluma 2/75 serie 87/EA/4
- Canteadora Frick-27
- Canteadora Frick Mod 3-27 serie 27-5990
- Grimmes Sin Especificación
- Despuntadoras Neumáticas MIT
- Trozadoras marca Industrial
- Trozadoras marca MIT S.A.

El layout de los activos que influyen en el rendimiento del aserradero es de la siguiente manera:

Figura 5.1: Layout aserradero.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se vio en la figura anterior los activos están comprendidos por TWIN, múltiples, canteadoras, grimmes, despuntadores, trozadores y CAPE. Sin embargo, el área no maneja la capacidad nominal de cada uno, ya que la antigüedad de las maquinarias data de antes de la incorporación de la planta al Negocio Maderas de Arauco. No obstante, es posible establecer una capacidad nominal[7] para algunos de los activos con los que se trabaja para establecer la capacidad del sistema completo según el comportamiento histórico a través

[7] Ver anexo B

del Factor de Operación Dinámico[8]. Así en la siguiente tabla se muestran las capacidades para los activos ya mencionados que se utilizan en la zona de aserradero y con los cuáles mantención debe trabajar:

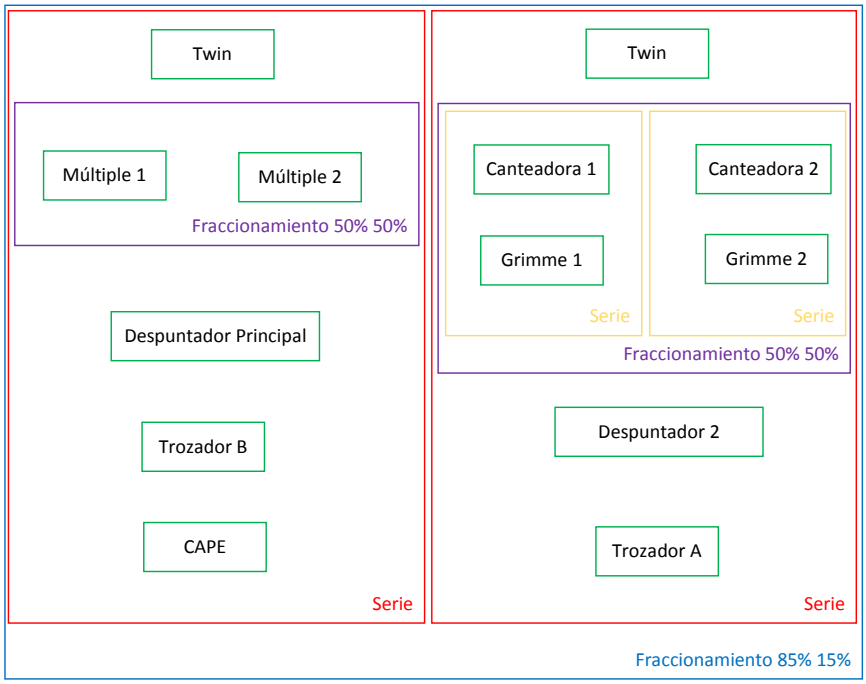
Tabla 5.1: Capacidad por máquina.

Activo	[Trozos/min]
Twin	8,104 ; 12,133
Múltiple 1	7,849
Múltiple 2	7,849
Canteadora 1	14,486
Canteadora 2	14,486
Grimme 1	10,502
Grimme 2	6,782
CAPE	7,795 ; 30,686

Fuente: Factor de Operación Dinámico, Arauco.

Bajo otro punto de vista, el diagrama de bloques de confiabilidad de la planta dado las funciones de las maquinarias y el funcionamiento sistemático de ellas queda representado de la siguiente manera:

Figura 5.2: Diagrama de bloques de confiabilidad.



Fuente: Elaboración Propia.

[8]Cálculo del factor de operación por esquema de trabajo

De la figura 5.1 se desprende que la configuración lógica funcional del aserradero está compuesta dos líneas de producción dispuestas en fraccionamiento en proporciones 85 % para la línea principal, compuesta por twin, múltiples, despuntador principal, CAPE y trozador B, y un 15 % para la línea lateral compuesta por twin, canteadoras, grimmes, despuntador 2 y trozador A. Estos porcentajes en función de las proporciones de producción promedio desde 15 de Febrero al 4 de Marzo de 2016.

Cabe destacar que el twin, se dispuso como activo en ambas líneas con el objetivo de ejemplificar que el fallo de cualquiera de las líneas, provocará la falla completa del aserradero. La línea principal es iniciada por twin, funcionando en serie con un sistema en fraccionamiento 50 % 50 % de múltiples, despuntador principal, CAPE y trozador B. Por otro lado, la segunda línea de producción está compuesta en un principio por el mismo twin, en serie con un sistema fraccionado 50 % 50 % de un sistema en serie de canteadora y grimme para cada una de estas sub-líneas, luego en serie con el despuntador 2 y para terminar en serie con el trozador A.

Es posible apreciar dada las capacidades y la configuración lógica funcional de las maquinarias que el cuello de botella de la operación en su mayoría de las oportunidades es el twin, pese a esto se puede establecer según la configuración, capacidad y en la práctica que la CAPE puede comportarse como cuello de botella dada la variabilidad que presenta en su capacidad debido principalmente a programas de trabajo en los que se debe producir trozos de madera menor a largo 1200 [mm], siendo estos dos activos los que condicionan el ritmo de trabajo del aserradero en términos de capacidad. Luego de haber realizado una descripción y análisis de los activos, se explicará la forma en que se le realizan mantenciones a estos.

Primeramente en el ámbito estratégico Marcelo Arellano establece en el Decálogo de Mantención que la visión es: ”Velar por los activos de la planta mediante una buena planificación de recursos humanos técnicos, repuestos y herramientas, velando de que ellos sean ejecutados en forma oportuna, eficiente y eficaz”.

El área realiza mantenciones en forma preventiva mediante el software de gestión ”SAP”, en este se ingresa la fecha de ingreso, vida útil y el origen de los repuestos y suministros de cada uno de los activos del aserradero. Este sistema informa el momento en que se debe realizar mantención por recambio de alguna parte de los activos, a un 80 % de la vida útil del activo o cuando indique la fecha de pedido según el tiempo de importe a planta dependiendo sea de origen nacional o internacional lo que ocurra primero de ambos. También se realizan inspecciones diarias de las líneas de producción, posterior al turno día y previo al turno noche para evitar imprevistos.

Además de las mantenciones ejecutadas por el área respectiva, cada operador tiene una lista de actividades de control que debe realizar antes de iniciar la operación, ”check-list”. Estos check-list se elaboraron conforme a la información manejada por los operadores y su experiencia para determinar los puntos en que su maquinaria comienza a presentar deficiencias y que provocan defectos en la materia prima en proceso y en conjunto con ingeniero de aserradero e inspector de control procesos y calidad. A continuación se presenta un check-list que es utilizado por el operador del Twin:

Figura 5.3: Check-list operador Twin.

ARAUCO

CHECK LIST OPERACIONAL TWIN

Semana 25 // Inicio-13-Junio

Observación: X Malo
✓ Bueno

OPERADOR TURNO 1 : Jhony Lara.
OPERADOR TURNO 2 : Galvarino Agurto.

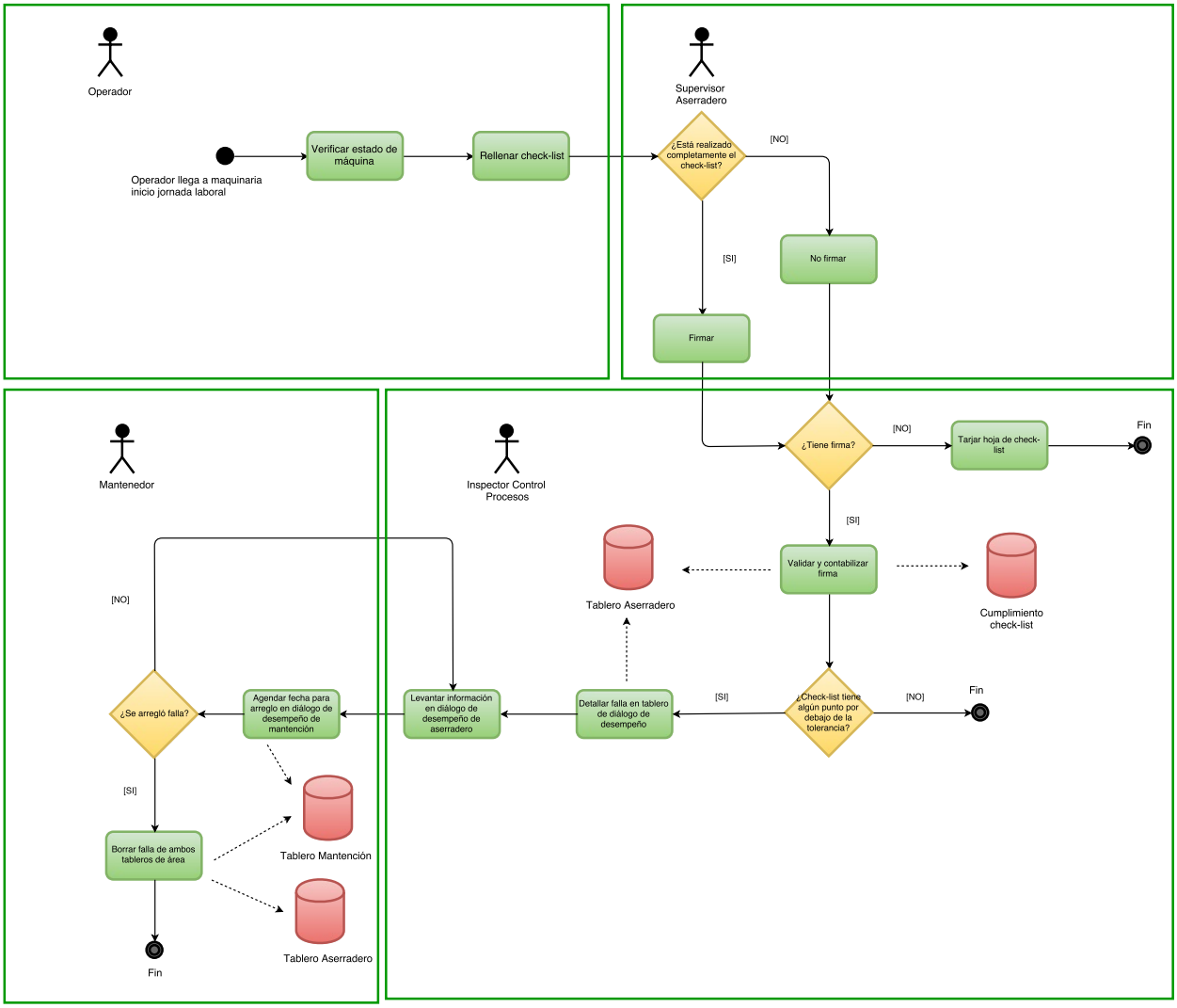
Nº	ACTIVIDAD DE CONTROL	TOLERANCIA	OPERADOR FRECUENCIA	LUNES T1	LUNES T2	MARTES T1	MARTES T2	MIERCOLES T1	MIERCOLES T2	JUEVES T1	JUEVES T2	VIERNES T1	VIERNES T2	SABADO T1	SABADO T2
1	Chequeo Dispositivos de Seguridad	Dispositivos de seguridad al 100%	Inicio de Turno												
2	Revisar Presión de Trabajo en BAR, Sistema Neumático	Patrón de medida 6 BAR	Inicio de Turno												
3	Revisión de Correas de ambos Motores TWIN	5 correas en buen estado y tensadas	Inicio de Turno												
4	Revisión de Platos y Pivotes	El Plato sin rebarba y el Pivote que no supere los 4,5mm	Inicio de Turno												
5	Revisar nivel liquido de refrigeración	Estanque de agua lleno	Inicio de Turno												
6	Revisar Limpieza Foto Celdas	Limpiar bases y fotoceldas	Inicio de Turno												
7	Medir Operatividad de Alimentador de Rollizo	Medir accionamiento y reacción	Inicio de Turno												
8	Revisar Desgaste de cremalleras	Ajuste brazos centradores	Inicio de Turno												
9	Regular distancias entre cadena de Avance y Alerones	Buena/Mala	Inicio de Turno												
10	Verificar Alineamiento de Cargador y Rodete	Alineados con respecto a la cadena de Avance	Inicio de Turno												

Observaciones:

Fuente: Check-list aserradero.

El diagrama de flujo del proceso de una falla identificado y solucionado por un check-list se detalla en la siguiente figura:

Figura 5.4: Diagrama de proceso de falla por check-list.



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama anterior ilustra el proceso de detección y arreglo de una falla de una máquina por medio de un check-list mediante la inspección del operador de la maquinaria respectiva. Este comienza con la verificación de los puntos de control de la máquina por parte del operador. Luego, si y sólo si está completamente rellenado el check-list el supervisor del turno firmará la planilla. Posteriormente el inspector de control procesos verificará si la planilla está firmada. En caso de no ser así, el día se tarja y no se considera para la efectividad del operario para el cumplimiento de los check-list. De estar firmado, se verifica que todos los puntos estén por sobre la tolerancia, de ser

así se escribe en el tablero del diálogo de desempeño de aserradero la satisfactoria realización del check-list. En caso de estar algún punto bajo tolerancia, de igual forma se escribe la satisfactoria realización del check-list y además se detallará la falla en el tablero del diálogo de desempeño. En el momento de la realización del diálogo de aserradero, se levantará la información al mantenedor presente en dicha reunión el cuál agendrá fecha en el diálogo de desempeño de mantención y lo registrará en el tablero del área. De no estar arreglado, se volverá a levantar en el diálogo de aserradero, en caso contrario se borrará de ambos tableros.

Luego de analizar la forma en que se realizan las mantenciones y su planificación, se jerarquizará los activos en términos de su criticidad con el objetivo de entender las fallas, sus causas, como pueden afectar al producto final y cuáles son las maquinarias en las que se debe poner atención, para esto se estudiará la disponibilidad de cada una de las maquinarias ya descritas. En la actualidad, los tiempos muertos sólo son registrados por el operador del Twin y conciernen a los tiempos y causas por la que se detuvo dicha maquinaria. Si bien se tiene un control de tiempos muertos, este control no es representativo para cada una de las maquinarias dispuestas en el layout ya que los tiempos muertos que no generen detención del Twin no se registran, por lo que para determinar el factor de uso o disponibilidad se necesita información en específica. Es por esto que se hace un seguimiento de aproximadamente 14.000 minutos, correspondiente entre el 15 de Febrero y 4 de Marzo, a cada uno de los activos ya mencionados midiendo tiempo muerto para establecer los causas de las detenciones, su frecuencia e impacto.

A continuación se presenta la tabla correspondiente a los factores de uso y disponibilidad para cada una de las maquinarias ya mencionadas, la principal diferencia entre estos indicadores es que el primero relaciona el tiempo total operativo con respecto al tiempo total disponible, es decir, toma en consideración todas las detenciones independientes de su causa (programadas, no programadas, etc). No obstante, el segundo considera sólo las detenciones relacionadas a fallas propias de la maquinaria.

Así se presenta la siguiente información[9]:

Tabla 5.2: Factor de uso y disponibilidad por máquina.

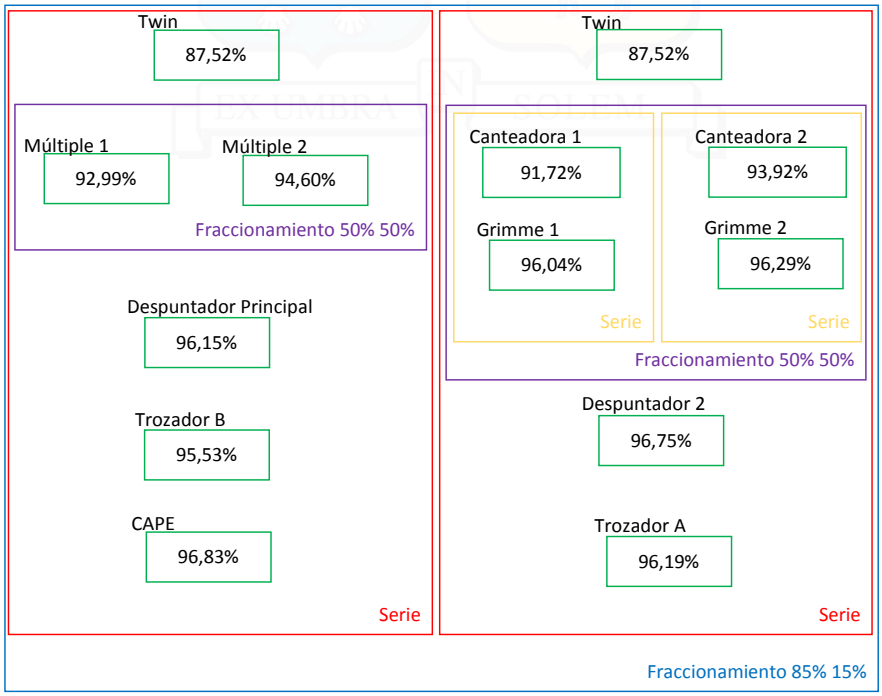
Activo	N° Detenciones	Tpo. Detenido [min]	TMED [min]	TMVO [min]	Factor de Uso	N° Fallas	Tpo. Detenido [min]	MTBF [min]	MTTR [min]	Disponibilidad
Twin	212	1.805	68	9	87,52 %	51	532	284	10	96,45 %
Múltiple 1	131	1.004	109	8	92,99 %	41	399	353	10	97,32 %
Múltiple 2	89	692	144	8	94,60 %	28	264	458	9	97,98 %
Canteadora 1	95	1.152	146	12	91,72 %	13	416	1.070	32	97,10 %
Canteadora 2	78	785	166	10	93,92 %	17	242	759	14	98,16 %
Grimme 1	98	507	131	5	96,04 %	31	153	413	5	98,82 %
Grimme 2	87	518	161	6	96,29 %	17	103	822	6	99,27 %
Despuntador Principal	60	472	204	8	96,15 %	3	32	4.088	11	99,74 %
Despuntador 2	55	381	213	7	96,75 %	1	2	11.711	2	99,98 %
Trozador A	106	550	136	5	96,19 %	11	42	1.313	4	99,71 %
Trozador B	57	636	250	11	95,53 %	5	232	2.848	46	98,40 %
Cape	45	392	275	9	96,83 %	10	119	1.238	12	99,05 %

Fuente: Elaboración Propia.

[9]Para mayor detalle ver anexo C

En la tabla anterior se crean conceptos como TMED (Tiempo Medio Entre Detención) y TMVO (Tiempo Medio para Volver a Operar), que se diferencia del MTBF y MTTR respectivamente por considerar todas las detenciones y no sólo relacionados fallas de los activos. Al tener la configuración del aserradero en la figura 5.2, factor de uso y disponibilidad de cada maquinaria que conforman el sistema productivo y mediante las ecuaciones 3.8 y 3.12 es posible establecer el factor de uso del aserradero como sistema, obteniendo un valor de 72,97 %:

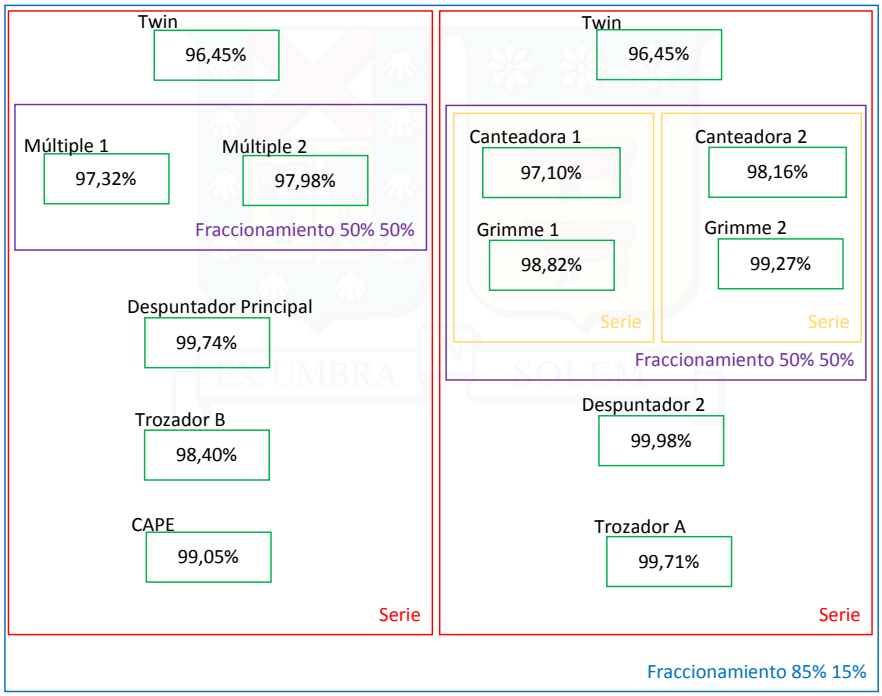
Figura 5.5: Factor de uso aserradero.



Fuente: Elaboración Propia.

De igual forma es posible establecer la disponibilidad del aserradero como sistema, obteniendo un valor de 91,77 %:

Figura 5.6: Disponibilidad aserradero.



Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de la operación del aserradero, se clasifica el funcionamiento según la repercusión que estos tienen para la correcta operación de las líneas de producción. Así se distingue la siguiente denominación:

- Repercusión 1: Sin efectos, se asocia generalmente a las realizadas como mantención preventiva después de la jornada laboral.
- Repercusión 2: Detención que tiene como efecto parar una de las líneas de producción, es decir, limita la producción.
- Repercusión 3: Detención que tiene como efecto parar ambas líneas de producción, por ende, el aserradero completo.
- Repercusión 4: Accidente con tiempo perdido.
- Repercusión 5: Accidente sin tiempo perdido.
- Repercusión 6: Incidente.
- Repercusión 7: Inspección de seguridad y salud ocupacional.
- Repercusión 8: Observación de seguridad y salud ocupacional.
- Repercusión 9: Cuasi accidente.

Dado lo anterior es que resulta interesante estudiar cual de los activos es lo que genera una mayor cantidad de tiempo muerto como repercusión 3 dentro del mismo período de evaluación[10] considerando sólo fallas de la maquinaria como tal. Para lo anterior, se utilizará el diagrama de Jack-Knife (3.11) con la siguiente información:

[10]Para mayor detalle ver anexo D

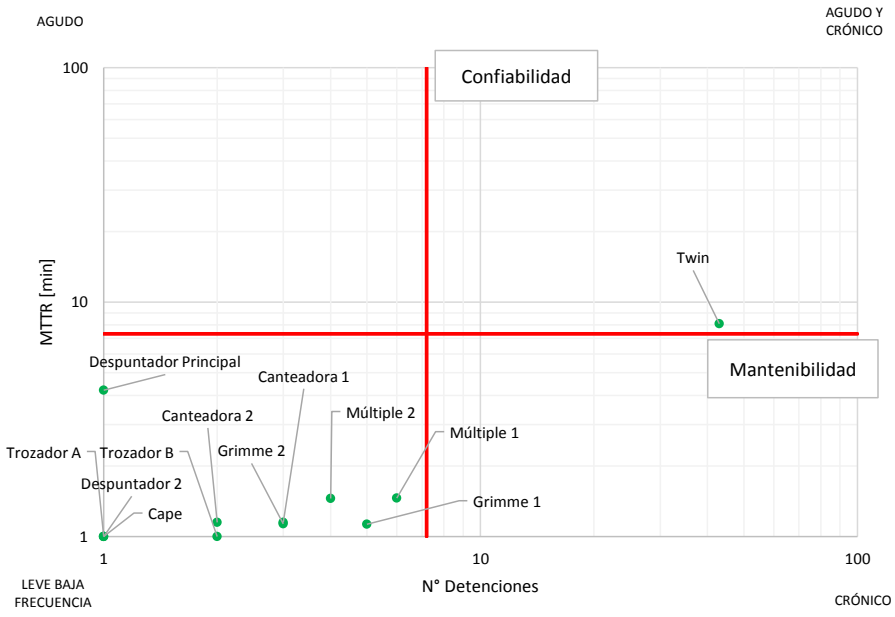
Tabla 5.3: Detenciones con repercusión 3 por máquina.

Máquina	N° Detenciones	Duración [min]	MTTR [min]
Twin	43	347,8	8,1
Múltiple 1	6	45,0	7,5
Múltiple 2	4	29,4	7,4
Canteadora 1	3	21,0	7,0
Canteadora 2	2	14,1	7,1
Grimme 1	5	27,6	5,5
Grimme 2	3	16,8	5,6
Despuntador Principal	1	4,2	4,2
Despuntador 2	0	0	0
Trozador A	0	0	0
Trozador B	2	9,6	4,8
Cape	1	10,2	10,2
Total	72	527,7	7,3

Fuente: Elaboración Propia.

En el diagrama de Jack-Knife, al tiempo medio de reparación se escalará elevando al impacto que tiene con respecto a la producción la inoperabilidad infinita de este activo, es decir, como impacta en la productividad si este activo no funcionará por un tiempo infinito y el aserradero tuviera que producir con sólo el resto de los activos. Así se obtiene el siguiente diagrama:

Figura 5.7: Diagrama Jack-Knife aserradero.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior (5.7), se puede establecer en primera instancia que el twin es una maquinaria aguda y crónica por lo que se presentan problemas tanto de confiabilidad como de mantenibilidad para este activo, en otras palabras, presenta un alto número de detenciones con alto tiempo para reparar dichas detenciones. A continuación se presenta el detalle de las detenciones del twin, activo que presenta un comportamiento atípico dentro de las líneas de aserradero:

Tabla 5.4: Detalle de detenciones con repercusión 3 twin.

Activo	Descripción	Frecuencia	Duración [min]
Twin	Falla cadena rodillos helicoidales	31	114,6
	Rotura manguera hidráulica	1	7,8
	Cambio de sierra	5	131
	Térmico mesa de carguío	3	21
	Atasque rollizo en sierras	1	13,2
	Ajuste de centrado	1	7,2
	Sierra doble	1	53

Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia en la tabla anterior (5.4), que el twin presenta una alta frecuencia en la falla de cadena de los rodillos helicoidales y con una duración total de 114,6 [min]. Para establecer las posibles causas se habla con el operador y se observa en terreno el funcionamiento del twin, a continuación se presenta una imagen del sector:

Figura 5.8: Cadena de rodillos helicoidales.



Fuente: Elaboración Propia.

Las cadenas utilizadas para mover los rodillos son de $1/2$ [pulgada], se encuentran al costado de los rodillos y por sobre ellos pasa el lateral del rollizo. La principal causa del corte de cadena de los rodillos helicoidales es la acumulación de material desprendido del corte de la madera en la zona donde no se encuentra cubierta por la lata, es así que por la constante acumulación ocasiona que las cadenas se rompan.

Por otro lado, las sierras fallan por el desgaste y excepcionalmente por objetos presentes en los rollizos y provenientes de la cancha de acopio sin corteza, para esto, se tienen sierras de recambio para situaciones que no están contempladas dentro de la vida útil estimada de estas.

5.1.1. Conclusiones

Finalmente ya realizado un análisis de la manera en que se planifican y desarrollan las mantenciones, la jerarquización de las maquinarias y determinación de las causas de detenciones más recurrentes se pueden obtener las siguientes conclusiones con respecto a la mantenibilidad y confiabilidad de los activos:

- Una vez determinada las capacidades de los activos que participan en las líneas de producción, se establece que en la mayoría de los casos el twin es la máquina restrictiva para la producción del aserradero, no obstante es posible que puede ser la CAPE dependiendo del tipo de programa de trabajo que se esté ejecutando.
- La determinación de los puntos de control fue realizado por los operadores, ingeniero de aserradero y control procesos, de manera que los parámetros no necesariamente son los óptimos para ser establecidos como tolerancias para la correcta operación.
- Dada la configuración lógica funcional de las líneas de producción, es que tanto el factor de uso como la disponibilidad del aserradero queda determinada en su mayoría por el Twin.
- El factor de uso del aserradero como sistema es de 72,97 %. Por otro lado la disponibilidad es de un 91,77 %, esta diferencia aproximada de 19 puntos porcentuales se debe a razones de operación, como por ejemplo cambio de programas, atoche de otros máquinas, falta de materia prima, falla de materia prima, entre otros.
- Al analizar las fallas que paran el aserradero completo (repercusión 3), se determina que el twin efectúa un alto número de detenciones y con alto tiempo de detención por parada. Estas fallas son en su mayoría comprendidas por cambio de sierras por falla de las mismas y falla de la cadena de los rodillos helicoidales y que corresponde al 85,85 % del tiempo por el cual detiene aserradero por esta máquina.

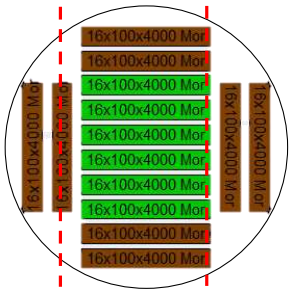
Realizado el estudio del estado de las máquina y su cuidado es que resulta necesario estudiar el proceso en el cuál se transforma la materia prima en producto final, teniendo en cuenta la existencia de un 18,8 % que disminuye el tiempo de operatividad del aserradero sólo debido a motivos operacionales y también que la máquina restrictiva y que define la disponibilidad y factor de uso dado la configuración de las líneas de producción es el Twin, por lo que cualquier cambio anormal en el funcionamiento de este activo puede llegar a afectar el proceso completo.

5.2. Confiabilidad del Proceso

Como se vio en la sección anterior el proceso da inicio por la máquina twin que realiza los dos primeros cortes centrales al rollizo[11]. Adicionalmente este activo establece la capacidad del aserradero y condiciona la disponibilidad del mismo. Es por esto, que para iniciar el estudio del proceso de aserrado se deberá estudiar el comportamiento de la maquinaria ya mencionada.

Los cortes realizados por el twin delimitarán la entereza de la pieza central como la de las piezas laterales, es decir, es determinante para la efectiva obtención de las piezas programadas que deben producirse desde un rollizo en las múltiples, canteadoras y grimmes respectivamente. Por lo que una desviación del centrado provocará que se reduzca el porcentaje de utilización del rollizo pues la pieza conseguida no se producirá con la superficie suficiente por lo que se perderá la pieza en su mayoría o en el peor de los casos completa.

Figura 5.9: Mal centrado de rollizo.



Fuente: Programa de trabajo.

Si bien, y como se aprecia en la imagen anterior (5.9), las piezas laterales son las más probables de no ser producidas como corresponde. Las piezas centrales se verán afectadas por la ”cola de pescado”, esto es presencia de borde del rollizo en las escuadrías producidas por la zona central.

Como consideraciones previas se debe mencionar que el twin no tiene tecnología para indicar un centrado acertado según el rollizo al que se realizarán los cortes. Presenta un par de láser que ”referencia” al operador la manera en que se está realizando el corte como se puede apreciar en la imagen de a continuación:

[11] Para mayor detalle ver 3.3.

Figura 5.10: Rollizo en twin.



Fuente: Elaboración Propia.

No obstante, a pesar de poseer láser de referencia, estos no son de total ayuda ya que no son ajustables a las distintas medidas que se producen en cada programa de trabajo. Además la lejanía de este con respecto al rollizo hace que en reiteradas ocasiones las líneas indiquen un mal centrado del rollizo siendo en realidad totalmente lo contrario, por ejemplo ver imagen anterior (5.13). Dado esto, es que la experiencia del operador juega un rol fundamental al momento de realizar estos primeros cortes al rollizo.

5.2.1. Estudio de Centrado

Según la problemática anterior, se realiza un estudio de los laterales del rollizo o ”lampazos” midiendo la altura de estos a través de ellos y así establecer si es posible obtener las piezas programadas en los programas de trabajos con los que se producen escuadrías con mayor demanda para el aserradero.

Actualmente Control Procesos realiza un estudio de centrado, que consiste en realizar una marca diametral con spray en donde la curva del rollizo se sitúe en la semibasa central pues en este sector es en donde su impacto es menor. Para saber si se encuentra ”bien centrado”, una vez pasado los rollizos por el twin se mide la diferencia gradual entre la recta realizada con spray y el corte efectivo

realizado, de esta manera si existe una diferencia mayor a 30 ^{o} se establece un ”mal centrado del twin”.

Aunque ya se realiza un estudio de centrado, a continuación se presenta un nuevo procedimiento pues la marca realizada en el rollizo sólo permite saber si el trozo se encuentra bien orientado (idealmente la recta de forma vertical), pero no bien centrado. Asimismo permite disminuir la falla humana inherente que se tiene al estimar un buen centrado por parte del inspector de Control Procesos.

Figura 5.11: Estudio actual de centrado.



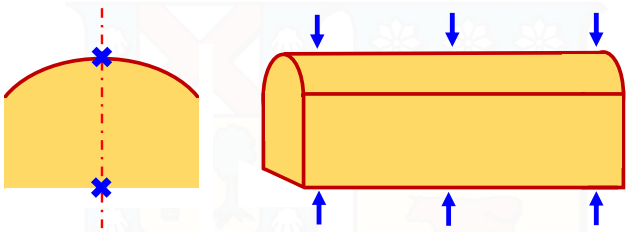
Fuente: Elaboración Propia.

Procedimiento de estudio:

- La muestra será de 30 rollizos, de la misma forma que el actual estudio de centrado, extraídos de la percha que se consume según el programa que se encuentre realizando al momento de realizar la prueba.
- Se ingresa a la cancha para solicitar a un operario del volvo, que aparte los 30 rollizos de la percha que se está consumiendo.
- Luego de tener la cantidad de rollizos apartada en la cancha, se procede a marcarlos con un spray en la parte del centro del rollizo en la que el inspector de calidad de control proceso determina mediante medición de curvatura del rollizo está centrado, esta consideración se enfoca principalmente en dejar la curvatura hacia arriba o abajo, es por esto que la línea pintada para el centrado debe ir justo en este sitio, es decir, en el largo donde se encuentre la mayor curvatura.

- Luego se sitúa en ambas sub-líneas de la línea de producción de los laterales, posterior a canteadoras y anterior a grimmes y se mide la altura en tres zonas a lo largo del lampazo.

Figura 5.12: Esquema de toma de medidas estudio centrado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.13: Medición de altura.



Fuente: Elaboración Propia.

Así el primer estudio se realiza con el siguiente programa de trabajo:

Tabla 5.5: Esquema de trabajo para estudio de centrado 1.

Folio	1600223		
Programa	10213		
Diámetro	18 [cm]		
Escuadrías	Alto [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]
Central	16	100	3350
Lateral	13	88	650
Kerf Twin	8 [mm]		
Kerf Grimme	4,2 [mm]		
Piezas/lampazo planificadas	1		
Altura teórica lampazo	31,5 [mm]		

Fuente: Elaboración Propia.

Las mediciones de los lampazos se muestran a continuación:

Tabla 5.6: Mediciones de altura lampazo [mm] estudio de centrado 1.

Rollizo	Grimme 1				Grimme 2			
	1° Med.	2° Med.	3° Med.	$\bar{X}_{muestral}$	1° Med.	2° Med.	3° Med.	$\bar{X}_{muestral}$
1	28,94	32,10	30,23	30,42	27,51	21,59	50,37	33,16
2	34,91	52,70	44,30	43,97	28,51	30,13	62,33	40,32
3	48,41	52,70	52,10	51,07	30,52	34,31	50,13	38,32
4	45,64	54,40	40,20	46,75	41,32	22,31	50,13	37,92
5	46,21	59,90	47,90	51,34	42,13	51,69	51,09	48,30
6	37,90	42,40	41,20	40,50	49,31	50,13	47,02	48,82
7	39,40	39,40	32,70	37,17	47,51	28,13	38,02	37,89
8	39,94	51,20	44,30	45,15	38,13	33,19	41,13	37,48
9	55,94	42,92	48,90	49,25	39,13	49,19	29,33	39,22
10	56,90	78,94	46,89	60,91	48,13	39,13	22,15	36,47
11	36,20	54,95	39,81	43,65	35,31	50,16	26,31	37,26
12	57,90	52,10	50,01	53,34	41,31	33,16	27,31	33,93
13	59,10	40,10	51,30	50,17	31,49	49,13	30,13	36,92
14	56,31	49,10	52,50	52,64	113,41	41,13	19,31	57,95
15	27,40	37,20	37,90	34,17	41,95	40,95	30,95	37,95
16	42,26	62,69	47,75	50,90	39,45	37,9	30,1	35,82
17	42,71	39,18	52,94	44,94	35,12	46,95	29,09	37,05
18	62,70	45,48	49,54	52,57	37,06	33,89	39,38	36,78
19	47,52	49,51	49,72	48,92	54,48	44,9	45,22	48,20
20	59,69	88,64	64,71	71,01	33,6	41,55	50,27	41,81
21	59,61	46,70	49,71	52,01	41,74	38,48	31,22	37,15
22	61,70	56,90	80,48	66,36	37,66	48,48	38,22	41,45
23	39,86	48,90	37,76	42,17	37,16	44,87	46,12	42,72
24	32,07	49,40	44,01	41,83	66,99	36,65	21,66	41,77
25	33,78	48,37	48,37	43,51	59,15	36,64	41,78	45,86
26	37,48	47,11	46,89	43,83	46,6	36,4	33,31	38,77
27	39,74	46,03	39,81	41,86	36,6	55,09	33,94	41,88
28	35,85	49,21	50,01	45,02	60,81	44,74	61,16	55,57
29	43,96	34,66	45,83	41,48	63,87	57,2	64,6	61,89
30	47,91	31,78	44,34	41,34	41,95	40,95	30,95	37,95

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 5.5, el programa estima las piezas por lampazo que se deben obtener del lateral. Además mediante una simplificación matemática se puede calcular la altura teórica del lampazo que se debe obtener, para este caso 31,5 [mm] y también es posible calcular la cantidad real de piezas por lampazo que se pueden obtener considerando el kerf [12] de la grimme, ya que dejará una menor área superficial para obtener piezas, y la altura mínima que limitará la producción de una pieza completamente buena. Así la expresión matemática para determinar las piezas por lampazo será:

$$Piezas/lampazo_{real} = \left\lfloor \frac{Min[x_{ij}] - 3 \cdot kerf_{grimme}}{Altura_{escuadria\ lateral}} \right\rfloor \quad ; \ \forall j \tag{5.1}$$

Donde:

i: Medición de altura i-ésima [mm]. i=1,2,3.

j: Lampazo rollizo j-ésimo. j=1,...,30.

[12] Anchura de la ranura hecha durante un corte.

Tabla 5.7: Piezas por lampazo real estudio de centrado 1.

Rollizo	Grimme 1		Grimme 2	
	Mímina Altura [mm]	Piezas/Lampazo Real	Mímina Altura [mm]	Piezas/Lampazo Real
1	28,94	1,00	21,59	1,00
2	34,91	1,00	28,51	1,00
3	48,41	2,00	30,52	1,00
4	40,2	2,00	22,31	1,00
5	46,21	2,00	42,13	2,00
6	37,9	1,00	47,02	2,00
7	32,7	1,00	28,13	1,00
8	39,94	2,00	33,19	1,00
9	42,92	2,00	29,33	1,00
10	46,89	2,00	22,15	1,00
11	36,2	1,00	26,31	1,00
12	50,01	2,00	27,31	1,00
13	40,1	2,00	30,13	1,00
14	49,1	2,00	19,31	0,00
15	27,4	1,00	30,95	1,00
16	42,26	2,00	30,1	1,00
17	39,18	2,00	29,09	1,00
18	45,48	2,00	33,89	1,00
19	47,52	2,00	44,9	2,00
20	59,69	3,00	33,6	1,00
21	46,7	2,00	31,22	1,00
22	56,9	3,00	37,66	1,00
23	37,76	1,00	37,16	1,00
24	32,07	1,00	21,66	1,00
25	33,78	1,00	36,64	1,00
26	37,48	1,00	33,31	1,00
27	39,74	2,00	33,94	1,00
28	35,85	1,00	44,74	2,00
29	34,66	1,00	57,2	3,00
30	31,78	1,00	30,95	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

De la información anterior, es posible obtener las siguientes conclusiones preliminares:

- Es posible notar que para el lampazo 1 en el 56,67 % de los casos y para el lampazo 2 en el 16,67 % de los casos se puede rescatar dos piezas.
- En el caso contrario para el lampazo 1 en ningún caso se produce menos de lo planificado y para el lampazo 2 en el 3,33 % (1 lampazo) de los casos no se puede producir de forma efectiva la pieza planificada.
- Si se relacionan ambas observaciones se puede determinar que por la grimme 1 hay más posibilidad de obtener más de 1 pieza y nula probabilidad de no obtener la pieza planificada, lo que en la grimme 2 no es de la misma manera, puesto que sólo en el 16,67 % de los casos se puede producir más de una pieza y un 3,33 % no es posible producir la cantidad planificada de piezas. Lo que evidencia preliminarmente una desviación hacia uno de los lados del rollizo.

Dada las características del twin y la baja tecnología en términos de centrado, es que para corroborar la conclusión anteriormente mencionada de un sesgo hacia un lado del rollizo al momento de realizar el primer corte se utilizará un test de hipótesis de comparación de medias y que tiene las siguiente estructura:

$$H_o : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

El estadístico viene determinado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{\bar{X_1} - \bar{X_2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \sim t_\omega \tag{5.2}$$

Donde:

$$\omega = \frac{\left[\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right]^2}{\left[\frac{(\frac{S_1}{n_1})^2}{(n_1-1)}\right] + \left[\frac{(\frac{S_2}{n_2})^2}{(n_2-1)}\right]}$$

Para este estudio 1 y como ya se detalló previamente, se contrarrestarán las medias de las alturas mínimas de cada lampazo para determinar si el operador se encuentra centrando adecuadamente. Así los parámetros y consideraciones del test de hipótesis son:

- Muestra 1: Alturas lampazo 1.
- Muestra 2: Alturas lampazo 2.
- n_1 : Número de observaciones muestra 1.
- n_2 : Número de observaciones muestra 2.
- $\bar{X_1}$: Promedio muestral 1.
- $\bar{X_2}$: Promedio muestral 2.
- S_1 : Desviación estándar muestra 1.
- S_2 : Desviación estándar muestra 2.

Así los parámetros para este estudio son:

- n_1 : 90.
- n_2 : 90.
- $\bar{X_1}$: 47,28.
- $\bar{X_2}$: 41,55.

En consecuencia los resultados del test de hipótesis son:

- ω = 171,44.
- $Valor\ Tabla$ = 1,97.
- E = 3,23.

Como se ve el estadístico es mayor valor tabla, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de confianza, concluyendo que el promedio del lampazo 1 es estadísticamente distinto al promedio de la altura del lampazo 2. De esta forma se puede establecer un mal proceso de centrado.

Igualmente, es posible determinar si la orientación del rollizo mediante el estudio de varianzas que se presenta a continuación:

Tabla 5.8: Distribución de varianzas estudio centrado 1.

Grimme 1			Grimme 2		
Varianzas		Distribución de Variabilidad	Varianzas		Distribución de Variabilidad
Varianza Intra	63,23	46,48 %	Varianza Intra	179,60	78,51 %
Varianza Inter	72,82	53,52 %	Varianza Inter	49,16	21,49 %
Varianza Total	136,05	100,00 %	Varianza Total	228,77	100,00 %

Fuente: Elaboración Propia.

Se esperaría idealmente que la distribución de varianzas fuera uniformemente distribuida al interior del lampazo como entre estos, ya que la curvatura debe ser orientada de forma vertical. Sin embargo, un alza en la varianza intra indicará que hay presencia de defectos del rollizo, específicamente curvatura están orientados en ese sector del trozo. Por otro lado, un alza en la varianza inter se puede deber a diferencias diamétricas entre rollizo. En consecuencia, dada la tabla 5.8 se observa un alza en la varianza intra de la grimme 2, por lo que la curvatura se encuentra orientada en dirección diagonal afectando en la obtención de piezas buenas.

Asimismo, la producción del programa de trabajo fue:

Tabla 5.9: Producción y rendimiento por categoría estudio de centrado 1.

Categoría	Espesor	Ancho	Largo	Lotes Producidos	Lotes Referenciales	Rend. Real %	Rend, Simulado %
Central	16	100	3350	50	64	24,29 %	31,20 %
Central	16	100	1100	33	15	5,26 %	2,41 %
Lateral	13	88	650	43	68	3,81 %	6,01 %
Total				126	147	33,36 %	39,62 %

Fuente: Elaboración Propia.

En resumen de este estudio del proceso de centrado se tienen las siguientes conclusiones:

- De los lampazos obtenidos de la grimme 1, es posible obtener en el 56,67 % de los casos una pieza más que lo planificado y en ningún caso una pieza completamente mala, mientras que por la grimme 2 en un lampazo no se obtendrá una pieza completa. Por lo que se concluye que el centrado estuvo sesgado hacia el lado derecho visto frontalmente, esto comprobado además con un test de hipótesis de comparación de medias al 95 % de confianza en donde estadísticamente se comprueba que las medias poblacionales son distintas.

- Dada la distribución de medias, se determina que la curvatura del rollizo fue orientada hacia el lampazo de la grimme 2.

- Existe un diferencial negativo de 14 lotes de producción de 16x100x3350 [mm] por el sector central del rollizo con una pérdida de rendimiento de 6,91 %, debido al canto muerto presente en la semibasa y que provoca que no pueda salir una pieza larga completa. No obstante, esta pieza larga se recupera en piezas de 16x100x1100 [mm], quedando en evidencia un diferencial positivo de producción de 18 lotes de la escuadría ya mencionada. Asimismo, por los laterales hay un diferencial negativo de producción de 25 lotes de 13x88x650 [mm] con pérdida de rendimiento de 2,20 % y que no es posible recuperar. Esto genera un costo de ineficiencia debido a no alcanzar a producir la cantidad planificada, en donde según la información se necesitan 131,17 [m^3] de materia prima adicionales para terminar el programa de trabajo original.

- Finalmente, al considerar de forma agrupada las conclusiones anteriormente mencionadas es posible notar que con los lampazos estudiados si se podía producir la cantidad planificada de piezas. No obstante, la producción al finalizar el programa de trabajo presenta desviaciones,

así se concluye que hay capacidad para obtener los resultados planificados pero al no haber supervisión se alteran factores que influyen en el resultado final.

Para ver la frecuencia de estos problemas, se reiterará el estudio en 2 programas distintos, no obstante a comparación del estudio anterior se omitirán algunos apartados.

Tabla 5.10: Esquema de trabajo para estudio de centrado 2.

Folio	1600285		
Programa	10217		
Diámetro	21 [cm]		
Escuadrías	Alto [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]
Central	38	96	3350
Lampazo	29	98	1100
Kerf Twin	8 [mm]		
Kerf Grimme	4,2 [mm]		
Piezas/lampazo planificadas	1		
Altura teórica lampazo	48,5 [mm]		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.11: Resumen resultados estudio de centrado 2.

		Grimme 1		Grimme 2	
Promedio Total		54,17		59,33	
Total de observaciones		90	Dist.de Variabilidad	90	Dist. de Variabilidad
Varianza intra		118,36	86,69 %	85,76	68,13 %
Varianza inter		18,17	13,31 %	40,12	31,87 %
Varianza total		136,53	100,00 %	125,88	100,00 %
% Efectividad piezas/lampazo		100,00 %		100,00 %	
% Lampazos pieza extra		0,00 %		0,00 %	
VT Comparación medias		1,97			
Estadístico comparación medias		3,51			
Categoría	Escuadría	Lotes producidos	Lotes referenciales	Rend. Real %	Rend. Simulado %
Múltiple	38x96x3350	25	31	30,56 %	34,20 %
Múltiple	38x96x1100	15	3	6,02 %	1,19 %
Lampazo	29x98x1100	25	36	9,73 %	12,71 %
Total		65	70	46,31 %	48,10 %

Fuente: Elaboración Propia.

En conclusión, de este estudio se desprende:

- El promedio de altura de las grimmes presenta un alza en la grimme 2, lo cual indica una desviación de corte hacia la derecha desde una vista frontal de salida al corte. Esto queda demostrado estadísticamente con el test de hipótesis de contraste de media en donde el estadístico es mayor al valor tabla.

- Se observa que la variabilidad intra de ambas grimmes es mayor que la inter, por lo que se concluye una errada orientación del rollizo pues la curvatura se encuentra de forma perpendicular al corte realizado por la twin y presente en los lampazos.

- En ninguna de las grimme es posible obtener una pieza extra a la planificada y en el 100 % de los lampazos de ambas grimmes es posible obtener la pieza planificada. Por lo que se concluye que el esquema de corte se encuentra ajustado al diámetro del rollizo.

- Con respecto al centrado, de la escuadría central 38x96x3350 [mm] se producen 6 lotes menos que lo planificado, con una pérdida de rendimiento de 3,64 %. Por el contrario se produjeron 12 lotes por sobre lo estimado de recuperación 38x96x1100 [mm], recuperando un rendimiento de 4,83 %. Asimismo, la deficiente orientación provocó un déficit de producción de la escuadría lateral de 9 lotes, perdiendo un 2,98 % de rendimiento sin oportunidad de recuperarse y debiendo utilizar 20,96 [m^3] de materia prima por sobre lo estimado para finalizar el programa original.

Finalmente, se estudiará un programa correspondiente a escuadrías exportadas a Corea. La diferencia de este esquema de corte es que en términos operativos son complejos de producir dado las dimensiones de las escuadrías, en donde además la máquina restrictiva deja de ser el twin pasando a ser la máquina CAPE[13] y en donde el primero deberá contener el ritmo de trabajo para evitar atoche en la línea de producción:

Tabla 5.12: Esquema de trabajo para estudio de centrado 3.

Folio	1600363		
Programa	10271		
Diámetro	16 [cm]		
Escuadrías	Alto [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]
Central	14	88	1100
Lampazo	12	78	1100
Kerf Twin	8 [mm]		
Kerf Grimme	4,2 [mm]		
Piezas/lampazo planificadas	1		
Altura teórica lampazo	27,5 [mm]		

Fuente: Elaboración Propia.

[13] Para mayor detalle ver 5.1.

Tabla 5.13: Resumen resultados estudio centrado 3.

		Grimme 1		Grimme 2	
Promedio Total		34,05		41,01	
Total de observaciones		90	Dist.de Variabilidad	90	Dist. de Variabilidad
Varianza Intra		84,39	61,60 %	63,67	48,67 %
Varianza Inter		52,61	38,40 %	67,15	51,33 %
Varianza Total		137,00	100,00 %	130,82	100,00 %
% Efectividad piezas/lampazo		86,67 %		96,67 %	
% Lampazos pieza extra		10,00 %		40,00 %	
VT Comparación medias		1,97			
Estadístico comparación medias		4,49			
Categoría	Escuadría	Lotes producidos	Lotes referenciales	Rend. Real %	Rend. Simulado %
Múltiple	14x88x1100	244	271	30,96 %	34,23 %
Lampazo	12x78x1100	27	31	5,18 %	5,87 %
Total		271	302	36,14 %	40,10 %

Fuente: Elaboración Propia.

Las conclusiones de este último estudio de centrado son:

- El promedio de altura de las grimmes presenta un alza en la grimme 2, lo cual indica una desviación de corte hacia la derecha desde una vista frontal de salida al corte. Esto queda demostrado estadísticamente con el test de hipótesis de contraste de media en donde el estadístico es mayor al valor tabla ($1,97 < 4,49$).

- Se observa que la variabilidad intra en la grimme 1 es ligeramente mayor, lo cual indica que la curvatura está orientada de forma diagonal, ya que este defecto del rollizo afecta a la altura del lampazo.

- Con respecto a la efectividad de las piezas por lampazo, en la grimme 1 en el 86,67 % y en la grimme 2 para el 96,67 % de los lampazos se produce la pieza lateral planificada, por el contrario, en el 10 % de los casos para la grimme 1 y en el 40 % de los casos para la grimme 2 se puede producir más de una pieza y esto se debe a que el diámetro a utilizar es diámetro 16, que engloba rollizos de diámetro 16 a 17,99 [cm] pues estos no se separan al centímetro.

- Con respecto al centrado, de la escuadría central 14x88x1100 [mm] se producen 27 lotes menos que lo planificado, con una pérdida de rendimiento de 3,27 %. Asimismo, la orientación provocó una disminución en la producción de la escuadría lateral de 4 lotes, perdiendo un 0,69 % de rendimiento.

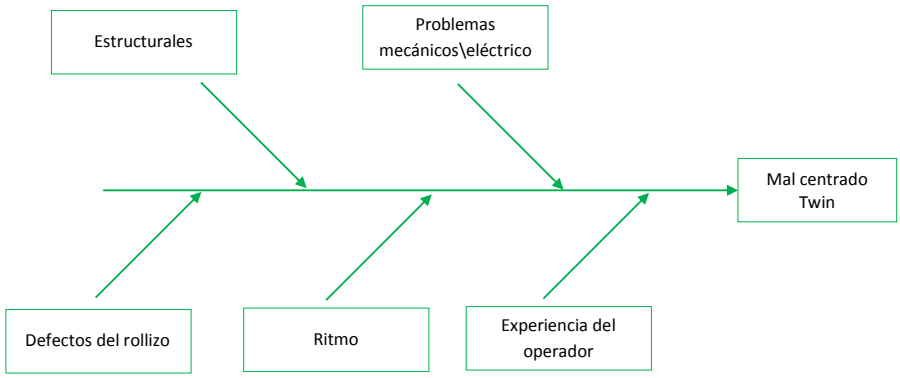
- La diferencia de un programa de ”trozado”[14] con un programa en el cual se puede recuperar una pieza cuando una pieza larga se produce con defecto, es que la pérdida de rendimiento es

[14]Programa de trabajo con escuadrías en que se deben producir piezas de largo menor y que provienen de una pieza de largo aproximado al largo del rollizo del cual se produce.

mayor en un programa como el primero especificado, pues no puede recuperarse en largos con menor largo. Por el contrario, en un programa con piezas de largo semejante al del rollizo, al presentarse un defecto, estas se pueden trozar y obtener piezas de menor largo, por ejemplo para este caso se necesitan 50,27 [m^3] de materia prima adicional para producir el déficit de ambas escuadrías. En ningún caso, se prefiere un programa sobre otro, pues la recuperación de piezas buenas si bien aminora la pérdida no se es eficiente en la producción, ya que se deberán reasignar recursos para completar la demanda de las piezas no producidas inicialmente.

Como se ha visto hasta ahora el centrado y orientación del rollizo en la twin juega un rol fundamental en el proceso productivo, pues condiciona la obtención de piezas buenas. Si bien se han cuantificado los efectos que provoca el problema de este proceso, a continuación se presenta un diagrama de Ishikawa con algunas causas que provocan el mal centrado:

Figura 5.14: Ishikawa mal centrado twin.



Fuente: Elaboración Propia.

Al observar el diagrama de Ishikawa (5.18) se consideran 5 causas que provocan el mal centrado:

- Estructurales: Al ingresar el rollizo, los rodillos acomodadores no ejercen presión de igual manera por lo que hace que el trozo quede desviado hacia un lado. También, el rodete que se encuentra justo anterior a las sierras tiene un sistema de resortes, por lo que tiene un movimiento y que hace que no necesariamente realice un centrado alineado a las sierras.

Figura 5.15: Rodillos acomodadores de twin.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.16: Rodete.



Fuente: Elaboración Propia.

- Problemas mecánicos/eléctrico: Esta causa se estudió con mayor detalle en la sección 5.1. Aunque es posible establecer que al haber problemas mecánicos/eléctrico, independiente de su naturaleza y se afectan directamente al corte del rollizo, disminuye el factor de uso por lo que para cumplir con el plan de producción diario se deberá aumentar la velocidad de las líneas.

- Defectos del rollizo: Asociado a la confiabilidad del suministro. Presenta mayor impacto la doble curvatura, pues tal y como se analizó anteriormente complica la obtención de piezas ”buenas” debido a diferencias de altura y presencia de canto muerto. Asimismo la tecnología que posee el descortezador, encargado de detectar los rollizos con defectos, no permite detectar esta característica por lo cual estos rollizos de igual forma ingresan a las líneas de producción.

Figura 5.17: Doble curva presente en twin.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.18: Canto muerto en piezas centrales.



Fuente: Elaboración Propia.

- Experiencia del operador: Está relacionado a la capacidad que tienen los operadores titulares obtenida por el tiempo el cual han desarrollado la actividad. Impacta en mayor medida cuando se debe reemplazar al trabajador.

- Ritmo: Tal como se detalló en la sección 3.1.3, el ritmo es un ratio que mide la velocidad real de paso de rollizos [trozos/min] versus la velocidad potencial planificada para el programa de trabajo. Dada la operación del twin este parámetro depende exclusivamente del operador, por lo que al ser elevado indica un aumento de pasos de rollizos por minuto hacia las líneas de producción. Lo anterior tiene principalmente dos consecuencias, aumentar la probabilidad de un mal centrado y atochamiento de las líneas de producción debido a capacidad.

De lo anterior, se tiene que una de las causales del mal centrado y propias del proceso es el ritmo con que se trabaja. Dada la experiencia, es que varios trabajadores plantean la siguiente hipótesis: ”Al aumentar la velocidad de alimentación del aserradero, por un lado se disminuye la posibilidad de un buen centrado y por otro se frena la línea de producción aumentando la probabilidad de perder materia prima ya que se deberán desatochar las estaciones de trabajo para volver a trabajar de forma fluida dejando de lado la búsqueda del máximo aprovechamiento de la madera”.

Para comprobar esta hipótesis, enseguida se realizará un estudio matemático y estadístico del factor de operación, este índice y como se especificó en la sección 3.1.3, muestra la eficiencia del uso de los activos dentro del tiempo en el que fueron utilizados relacionando el ritmo en conjunto con el factor de uso.

5.2.2. Análisis e impacto de FU y Ritmo en IR %

En primer lugar, se partirá trabajando con la ecuación 3.3:

$$FO = FU \ x \ Ritmo\,\%$$

Luego, se aplicará logaritmo natural de manera que la ecuación anterior quede linealizada:

$$ln(FO) \ = \ ln(FU) \ + \ ln(Ritmo) \tag{5.3}$$

Dado que el Factor de Operación meta y el cuál debe ser alcanzado es de 82 %, se reemplazará este valor en la ecuación:

$$ln(82\,\%) \ = \ ln(FU) \ + \ ln(Ritmo) \tag{5.4}$$

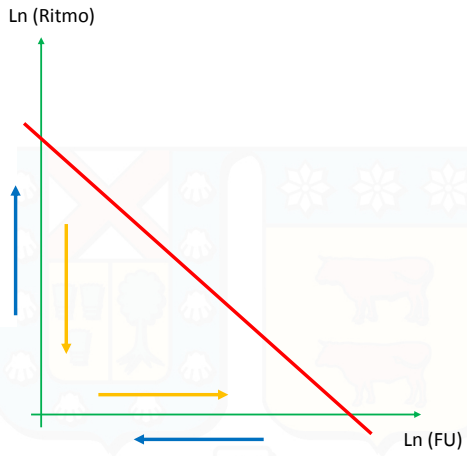
Para verlo desde un punto de vista más genérico, este valor puede considerarse como una constante arbitaria resultando:

$$k \ = \ ln(FU) \ + \ ln(Ritmo) \tag{5.5}$$

Finalmente si se simplifica a su máxima expresión la ecuación anterior dejando tanto el factor de uso y ritmo como variables, se obtiene una recta con pendiente negativa como se tiene a continuación de forma matemática y gráfica:

$$k \ = \ y \ + \ x \tag{5.6}$$

Figura 5.19: Factor de operación linealizado y simplificado.



Fuente: Elaboración Propia.

Después de haber realizado una linealización del factor de operación, se plantea la hipótesis de una relación inversa entre el factor de uso y ritmo por lo que para alcanzar la meta del factor de operación se puede dar mediante:

1. Aumentar el factor de uso mediante una disminución del ritmo, es decir, hacer trabajar el aserradero el mayor tiempo posible a una velocidad constante y estable para las líneas de producción.

2. Aumentar el ritmo sacrificando factor de uso, esto es, alimentar las líneas de producción de manera que estas se encuentran con una alta cantidad de materia prima en proceso, ocasionando cuello de botella y que luego de esto las líneas trabajen a máxima capacidad. Sin embargo, no es recomendable pues se espera que el rendimiento sea menor pues la probabilidad de un buen centrado disminuye como se analizó anteriormente en el estudio de centrado (5.2.1).

Además se puede estimar que la recta del FO puede ser desplazada dado que el ritmo del twin depende finalmente del operador, obteniendo un efecto positivo en los indicadores ya que pueden aumentar los porcentajes de combinación, mediante la experiencia y capacidad del operador del twin para determinar en que programas de trabajo se puede aumentar el ritmo sin sacrificar factor de uso.

Con el objeto de esclarecer el impacto que tiene el factor de uso y el ritmo, siendo este último causal de un mal centrado afectando el rendimiento y la producción, es que se realizará un modelo

de regresión lineal que por sobre de permitir cuantificar los efectos de estos indicadores ayudará a obtener conclusiones acerca de la priorización de estos y el trabajo que efectúan los turnos. A continuación se presenta la información para el modelo[15]:

- Supuestos y Consideraciones:
  - Información obtenida de planillas de líderes de turno desde 01 Diciembre de 2015 hasta 31 de Marzo de 2016, correspondientes a 152 observaciones. El horizonte de estudio se establece dentro de este rango debido a la realización de mejoras en las maquinarias y cambios en la programación de esquemas con respecto a los que se realizaban anterior a estas fechas.
  - Índice de Rendimiento meta: 98 %.
  - Ritmo meta: 91 %.
  - Factor de Uso meta: 90 %.
- Variable Endógena:

  DIR = Diferencia entre el índice de rendimiento sin venta nacional real de una jornada de operación y el índice de rendimiento meta para una jornada de operación.
- Variables Exógenas:
  - $DRITMO$ = Diferencia entre ritmo real y ritmo meta de una jornada de operación.
  - DFU = Diferencia entre el factor de uso real y el factor de uso meta de un día de operación.
  - $DT1D$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 1 en día.
  - $DT1N$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 1 en noche.
  - $DT2D$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 2 en día.
  - $DT2N$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 2 en noche.

  Finalmente el modelo obtenido queda:

- Modelo:

$$DIR = 0,165903 * DFU + 0,092436 * DRITMO - 0,057706 * DT1D - 0,062520 * DT1N - 0,093270 * DT2D - 0,087195 * DT2N \quad (5.7)$$

[15]Para mayor detalle ver anexo E.

- Conclusiones del modelo[16]:
  - Un aumento de un 1 % en el factor de uso provoca un aumento de un 0,165903 % por sobre la meta del índice de rendimiento.
  - Un aumento de un 1 % en el ritmo provoca un aumento de un 0,092436 % por sobre la meta del índice de rendimiento.
  - El turno 1 trabaja de igual medida durante el día que durante la noche, lo mismo para el turno 2.
  - El turno 1 tiene asociada una pérdida menor a la que ocasiona cuando trabaja el turno 2.

El modelo de regresión lineal anterior demuestra un mayor impacto en el índice de rendimiento del factor de uso que mediante el ritmo.

Ahora, al cruzar esta información con la linealización del factor de operación se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Al haber un aumento del ritmo se espera que disminuya el factor de uso asociado a la capacidad de las maquinarias en las líneas de producción. Esto provocará un aumento del índice de rendimiento, no obstante, este aumento será menor en magnitud que lo perdido por factor de uso, por lo que se espera en el global una pérdida de rendimiento.
- Por el contrario, la disminución del ritmo debería provocar un aumento del factor de uso. Por lo que por un lado debería disminuir el rendimiento si es que este es menor al ritmo meta, sin embargo, el factor de uso al aumentar debería contrarrestar la pérdida de rendimiento ya que el incremento es mayor que la pérdida asociada al otro indicador.

Para corroborar las hipótesis anteriormente mencionadas en primer lugar se miderá la tasa de alimentación del twin hacia el aserradero con el mismo programa de trabajo en el cual se estudio el centrado:

[16]Para mayor detalle ver anexo E.

Tabla 5.14: Alimentación twin programa de trabajo de estudio de centrado 1.

Folio	1600223		
Programa	10213		
Diámetro	18 [cm]		
Escuadrías	Alto [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]
Central	16	100	3350
Lateral	13	88	650

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar el tiempo a analizar se observará el tiempo total del programa de trabajo:

Figura 5.20: Programa de trabajo 1600223.

RESPONSABLE : LEONARDO BUSTOS
TURNO : 2 **Consumir perchas sin sirex 21 , 23**
PROGRAMA N° : 2
Maq Restrictiva: TWIN

			Consumo Real	N° PROGRAMA 10213												
Diámetro :		18														
Largo :		3,3			Hr. Inicio :											
N° Trozos :		1052,2			Colación:											
Vol. Trozos :		112,5	0,0	0,0	Hr. Termino :											

		Escuadría			Escuadría Producción	Arma do Máqu	N° Pza / Tzo	Vol. / Tzo	Vol. Espera do	N° Pzas. Espera	Vol. Real	N° Pzas Real	Cumplimiento	MARCAS	Indicadores	Valor Astilla L2 15 mm Planif.	Valor Astilla 14 mm Real
		Esp.	Ancho	Largo													
Prod. Principal															Codigo Esquema (Cod.	10213	10213
Producto Multiple	MOR	16,0	100,0	3350	16x101x3350	7	5,5	0,029	31,02	5.787				CONS 18	Rendimiento (%)	39,2%	
Laterales Multiple															Productividad (m3/hr)	28,6	
Lampazos															Trozos Potenciales	13,91	13,9
Pieza 1	JAP	13,0	88,0	650	13x89x650	2	8,6	0,006	6,73	9.049					Avance (Trozo / min)	12,7	
Pieza 2															Consumo (Trozos / hr)	39,1	
Trozado															Tiempo Total (hr)	1,54	
TROZADOR															T. Muerto (min)	0	
TROZADOR	MOR	16,0	100,0	1100	16x101x1100		3,4	0,006	6,30	3.578					F. Uso (%)	90%	
TROZADOR															F. Ritmo (%)	91%	
TROZADOR															F. Operación (%)	82%	
									44,05	18.414	0,00	0	0,00%				

Fuente: Planificación Aserradero El Cruce.

De lo anterior, según la ecuación 3.14 y los siguientes parámetros es posible obtener el tiempo a muestrear:

N = 1,54*60 = 92,4 [min].

α = 0,05.

$Z^2_{\frac{\alpha}{2}} \approx 1{,}96$.

p = Dado que se espera que el twin opere el 90 % del tiempo, se utiliza p=0,9.

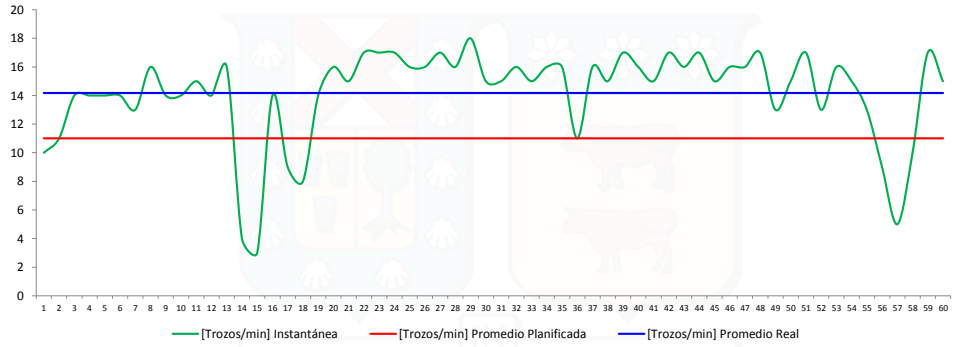
q = 0,1.

e = Error recomendado por planta Aserradero El Cruce 0,05.

n = 55,63 [min], aproximándose a 1 [hora].

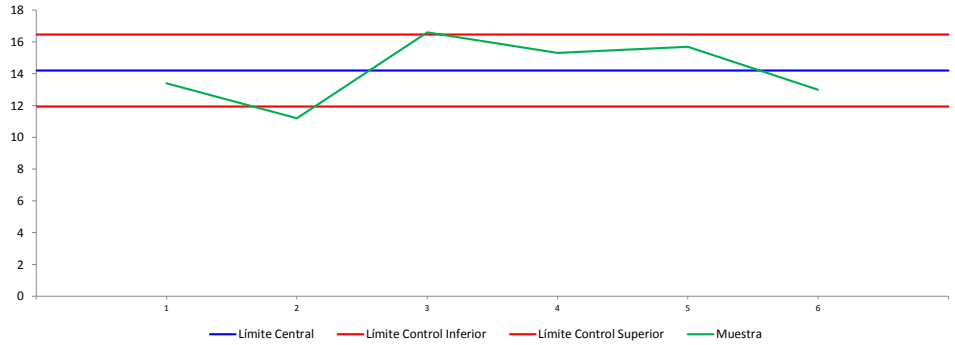
Así se obtiene el siguiente gráfico:

Figura 5.21: Tasa de alimentación real versus planificada del twin [trozos/min].



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.22: Control estadístico del proceso de alimentación.



Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia una alta variabilidad en el ritmo de alimentación del twin, tanto así que en el gráfico 5.22 se estima que el proceso no está bajo control estadístico. También se observan bajas correspondiente a detenciones completas del aserradero (repercusión 3) por atochamientos en la línea de producción como se ve en la siguiente figura:

Figura 5.23: Atochamiento canteadora 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Dado esto, es que queda demostrado que un aumento en la variabilidad de la tasa de alimentación del twin provocará detenciones del aserradero, afectando el rendimiento y la producción final.

5.2.3. Quiebre de Piezas en Caída de Múltiples

Como se dijo en un principio, el corte de la twin condicionará la obtención de piezas afectando la efectividad de los cortes de las múltiples, canteadoras y grimmes. Además, como se vio en el diagrama lógico funcional del aserradero, el 85 % de la producción es realizada por la línea principal por lo que se estudiará las caídas de las múltiples, zona en la cual las piezas que provienen de las múltiples caen, de forma literal, y pasan al despuntador principal, para proceder a la CAPE o trozador B según corresponda la calidad de la pieza.

Figura 5.24: Caída múltiple 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Se nota en la figura previa (5.24) que al momento de caer las piezas ejecutan un pandeo[17] causando el quiebre de estas. Para esto se registrará las piezas quebradas durante 1 mes comenzando el día 19 de Mayo hasta el 15 de Junio, pues en este horizonte de tiempo se realizan esquemas de trabajo con piezas provenientes de rollizos de largo 3,40 y 4,10 [m] obteniendo los siguientes resultados:

[17]Pandeo: Inestabilidad elástica en elementos delgados y que es ocasionado por desplazamientos transversales a la dirección principal de compresión o al largo del elemento.

Tabla 5.15: Volumen de piezas quebradas por día y escuadría.

Día y Escuadría	Volumen [m^3]	Porcentaje por Día y Escuadría
19-05-2016	**0,141**	**3,56 %**
15x100x3350	0,141	100,00 %
20-05-2016	**0,452**	**11,44 %**
15x100x3350	0,302	66,66 %
16x75x3350	0,068	15,11 %
37x95x3350	0,082	18,23 %
23-05-2016	**0,368**	**9,32 %**
15x100x3350	0,357	96,86 %
16x72x3350	0,012	3,14 %
24-05-2016	**0,308**	**7,80 %**
15x100x3350	0,261	84,73 %
37x95x3350	0,047	15,27 %
25-05-2016	**0,060**	**1,53 %**
15x100x3350	0,060	100,00 %
26-05-2016	**0,302**	**7,63 %**
15x100x3350	0,302	100,00 %
27-05-2016	**0,231**	**5,85 %**
15x100x3350	0,231	100,00 %
30-05-2016	**0,186**	**4,70 %**
13x75x1100	0,004	2,31 %
13x88x1100	0,003	1,36 %
14x88x1100	0,005	2,92 %
18x80x1300	0,022	12,10 %
18x98x1000	0,004	1,90 %
19x83x4000	0,095	50,97 %
11x120x4000	0,053	28,44 %
31-05-2016	**0,114**	**2,90 %**
14x88x1100	0,007	5,92 %
15x100x3350	0,050	43,90 %
16x78x1100	0,015	13,19 %
18x98x1000	0,042	36,99 %
01-06-2016	**0,294**	**7,44 %**
18x120x950	0,008	2,79 %
19x83x4000	0,132	45,09 %
20x122x1300	0,016	5,40 %
26x120x4000	0,137	46,72 %
02-06-2016	**0,239**	**6,04 %**
13x83x4000	0,004	1,81 %
13x88x1070	0,022	9,23 %
16x88x4000	0,169	70,81 %
20x122x1300	0,016	6,65 %
20x96x1300	0,027	11,51 %
03-06-2016	**0,143**	**3,62 %**
14x88x4000	0,064	44,83 %
16x88x4000	0,079	55,17 %
06-06-2016	**0,241**	**6,09 %**
15x100x4000	0,108	44,89 %
23x100x4000	0,037	15,30 %
18x120x1300	0,065	26,84 %
13x120x4000	0,031	12,97 %
07-06-2016	**0,261**	**6,60 %**
13x83x4000	0,082	31,46 %
23x100x4000	0,037	14,12 %
18x120x1300	0,008	3,23 %
12x78x4000	0,060	22,98 %
18x88x1300	0,014	5,53 %
28x88x4000	0,059	22,69 %
08-06-2016	**0,239**	**6,04 %**
14x88x1100	0,007	2,84 %
15x100x3350	0,045	18,95 %
18x80x1300	0,015	6,28 %
28x88x4000	0,089	37,18 %
13x88x1020	0,007	2,93 %
23x100x1020	0,016	6,88 %
13x88x4000	0,059	24,93 %
09-06-2016	**0,034**	**0,85 %**
14x88x1100	0,014	40,27 %
15x100x3350	0,020	59,73 %
10-06-2016	**0,045**	**1,14 %**
15x100x3350	0,045	100,00 %
13-06-2016	**0,077**	**1,94 %**
18x88x3300	0,047	61,47 %
23x120x1100	0,021	27,77 %
14x80x1050	0,008	10,76 %
14-06-2016	**0,183**	**4,63 %**
15x100x4000	0,066	36,07 %
23x100x4000	0,023	12,79 %
13x75x4000	0,094	51,15 %
15-06-2016	**0,035**	**0,89 %**
37x95x3350	0,035	100,00 %
Total general	**3,952**	**100,00 %**

Tabla 5.16: Volumen de piezas quebradas según escuadría.

Escuadría	Volumen [m3]	Porcentaje Relativo
15x100x3350	1,814	45,90 %
16x88x4000	0,248	6,27 %
19x83x4000	0,227	5,75 %
15x100x4000	0,174	4,40 %
37x95x3350	0,165	4,17 %
28x88x4000	0,148	3,74 %
26x120x4000	0,137	3,47 %
23x100x4000	0,097	2,45 %
13x75x4000	0,094	2,37 %
13x83x4000	0,086	2,18 %
18x120x1300	0,073	1,85 %
16x75x3350	0,068	1,73 %
14x88x4000	0,064	1,62 %
12x78x4000	0,060	1,52 %
13x88x4000	0,059	1,51 %
11x120x4000	0,053	1,34 %
18x88x3300	0,047	1,19 %
18x98x1000	0,046	1,16 %
18x80x1300	0,037	0,95 %
14x88x1100	0,033	0,82 %
20x122x1300	0,032	0,80 %
13x120x4000	0,031	0,79 %
20x96x1300	0,027	0,69 %
13x88x1070	0,022	0,56 %
23x120x1100	0,021	0,54 %
23x100x1020	0,016	0,42 %
16x78x1100	0,015	0,38 %
18x88x1300	0,014	0,36 %
16x72x3350	0,012	0,29 %
14x80x1050	0,008	0,21 %
18x120x950	0,008	0,21 %
13x88x1020	0,007	0,18 %
13x75x1100	0,004	0,11 %
13x88x1100	0,003	0,06 %
Total general	3,952	100,00 %

Fuente: Elaboración Propia.

Además el margen ex-fábrica para el mes de Mayo según mercado se presenta a continuación:

Tabla 5.17: Márgen ex-fábrica [USD/m^3] Mayo 2016.

Mercado	Margen Ex-Fáb. [USD/m^3]
COR	118,20
CHI	74,45
EUR	47,84
NAC	-57,39
JAP	156,57
MOR	125,17
TAW	141,60

Fuente: Elaboración Propia.

Así finalmente es posible obtener los volúmenes de piezas quebradas por mercado y con la tabla 5.17 se puede cuantificar en términos monetarios.

Tabla 5.18: Volumen y costo [USD] de piezas quebradas según mercado de exportación.

Mercado	Volumen [m3]	Porcentaje Volumétrico Relativo	Costo Pérdida [USD]
MOR	2,492	63,07 %	311,97
JAP	0,514	13,01 %	80,51
CHI	0,307	7,78 %	22,88
EUR	0,275	6,96 %	13,15
COR	0,202	5,12 %	23,93
TAW	0,161	4,06 %	22,73
Total general	3,952	100,00 %	475,16

Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera se concluye que en un mes de trabajo, sólo por la caída de las piezas en la salida de las múltiples se pierde un volumen de producción de 3,95 [m^3] equivalente a 475,16 [USD]. Además de pérdida de producción se espera tiempo muerto asociado al desatoche de las piezas.

5.2.4. Conclusiones

Para concluir el análisis de la confiabilidad del proceso se tiene:

- El proceso de aserrado comienza con los cortes centrales. Dada la tecnología del twin, el centrado y la orientación del rollizo es realizado por el operador. Este debe procurar orientar la curvatura en forma vertical de manera que el canto muerto salga sólo por la semibasa. Sin embargo, una de las causas del mal centrado es la doble curvatura que entra a las líneas de producción.
- Un mal centrado provoca pérdida de rendimiento por tipo de escuadría esperado, es decir, pérdida de rendimiento para escuadrías ”largas” y exceso de rendimiento esperado para escuadrías ”cortas”, presentando diferencias en los volúmenes de producción con respecto a lo planificado. Esto acarrea un costo de oportunidad asociado a la destinación de materia prima adicional para producir paquetes que no se producen a causa de lo anterior.
- Al trabajar el modelo del factor de operación se vislumbra una relación inversa entre el ritmo y el factor de uso. Junto con esto, hay un efecto de magnitud doble sobre el índice de rendimiento al aumentar el FU que aumentar al ritmo.
- Hay factores que influyen en el mal centrado como la experiencia del operador y estructurales, este último se debe considerar para el correcto centrado ya que los rodillos acomodadores y el rodete tienen como función alinear el rollizo hacia las sierras.
- Al seguir por el proceso, se encuentra pérdidas de materia por la caída de piezas a la salida de las múltiples hacia el despuntador principal. Esto se debe a la configuración de las líneas de producción llegando a perder un aproximado de 4 [m^3] al mes sólo por la caída libre de las piezas.

5.3. Confiabilidad de los Suministros

En el proceso de aserrío el suministro primordial es la madera, para este trabajo de memoria, rollizos de pino radiata. Dado lo anterior, es que se analizará por un lado la confiabilidad de la materia prima (contar con el volumen, lugar y tiempo adecuado del suministro) y con respecto a la calidad de este.

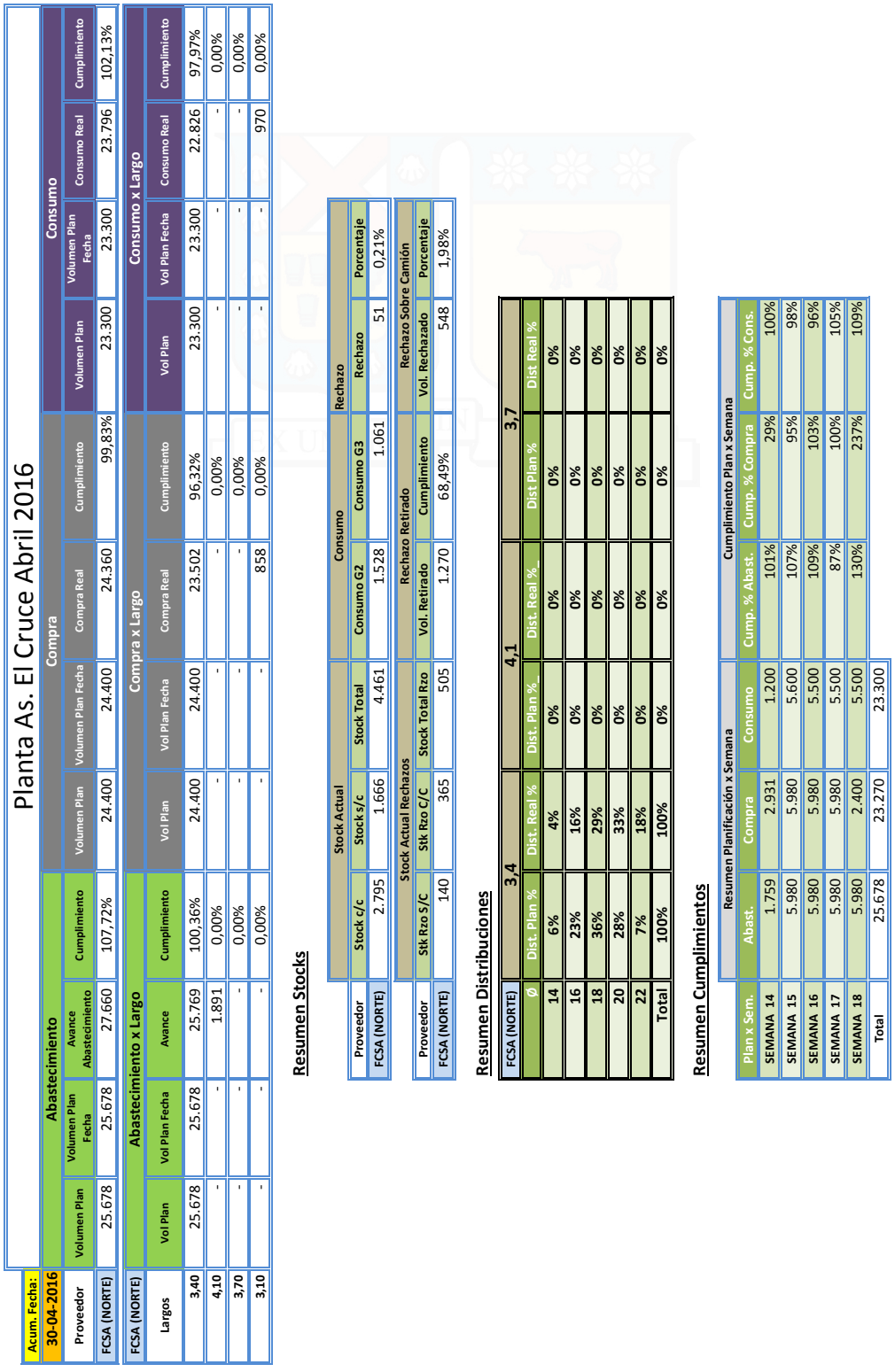
Los rollizos suministrados son clasificados según norma JAS (Japanese Agricultural Standard), siendo el diámetro JAS el diámetro menor de la sección transversal menor del trozo. La unidad de medida es el [cm] y se aproxima al entero par inferior. De esta forma los diámetros abastecidos son 14, 16, 18, 20 y 22 [cm], en largos de 3,4 , 3,7 y 4,10 [m] y Grado 1, Grado 2 y Grado 3, los grados miden el nivel de defectos que presenta el rollizo en donde el primero representa rollizos semejantes a un cilindro y en función de la distorsión de esta forma es la disminución del grado. Se espera que el aserradero sea alimentado en su mayoría por rollizos de grado 1, ya que de esta manera se asegura el mayor aprovechamiento de la materia prima.

La empresa abastecedora de materia prima es Forestal Arauco S.A., esta oferta distribuciones diamétricas aproximadas a la oficina central de Paneles Arauco para planificar la producción mensual de la planta mediante el modelo de gestión en donde se obtienen los volúmenes de producción de las escuadrías y los volúmenes de materia prima según diámetro. Luego de esto, se planifica el abastecimiento diario según las mantenciones del descortezador, su capacidad de trabajo y la capacidad de la cancha de acopio.

5.3.1. Análisis de Abastecimiento

El área de Planificación del aserradero lleva el control mediante la carta gantt de rollizos, en donde se hace un seguimiento de los volúmenes abastecidos (recepcionados por aserradero), comprados (pasados por descortezador) y consumidos (enviados a aserradero). También del cumplimiento por parte de Forestal con respecto a lo planificado y como se comporta la distribución diamétrica acumulada de los rollizos a la fecha con respecto a la distribución estimada. A continuación se presenta el resumen de los indicadores de la carta gantt del mes de abril de 2016:

Figura 5.25: Carta gantt abril 2016.



Planta As. El Cruce Abril 2016

Acum. Fecha: 30-04-2016

Proveedor	Abastecimiento				Compra				Consumo			
	Volumen Plan	Volumen Plan Fecha	Avance Abastecimiento	Cumplimiento	Volumen Plan	Volumen Plan Fecha	Compra Real	Cumplimiento	Volumen Plan	Volumen Plan Fecha	Consumo Real	Cumplimiento
FCSA (NORTE)	25.678	25.678	27.660	107,72%	24.400	24.400	24.360	99,83%	23.300	23.300	23.796	102,13%

FCSA (NORTE)	Abastecimiento x Largo				Compra x Largo				Consumo x Largo			
Largos	Vol Plan	Vol Plan Fecha	Avance	Cumplimiento	Vol Plan	Vol Plan Fecha	Compra Real	Cumplimiento	Vol Plan	Vol Plan Fecha	Consumo Real	Cumplimiento
3,40	25.678	25.678	25.769	100,36%	24.400	24.400	23.502	96,32%	23.300	23.300	22.826	97,97%
4,10	-	-	1.891	0,00%	-	-	-	0,00%	-	-	-	0,00%
3,70	-	-	-	0,00%	-	-	-	0,00%	-	-	-	0,00%
3,10	-	-	-	0,00%	-	-	858	0,00%	-	-	970	0,00%

Resumen Stocks

Proveedor	Stock Actual			Consumo			Rechazo	
	Stock c/c	Stock s/c	Stock Total	Consumo G2	Consumo G3	Rechazo	Porcentaje
FCSA (NORTE)	2.795	1.666	4.461	1.528	1.061	51	0,21%

Proveedor	Stock Actual Rechazos			Rechazo Retirado		Rechazo Sobre Camión	
	Stk Rzo S/C	Stk Rzo C/C	Stock Total Rzo	Vol. Retirado	Cumplimiento	Vol. Rechazado	Porcentaje
FCSA (NORTE)	140	365	505	1.270	68,49%	548	1,98%

Resumen Distribuciones

FCSA (NORTE)	3,4		4,1		3,7	
Ø	Dist. Plan %	Dist. Real %	Dist. Plan %	Dist. Real %	Dist Plan %	Dist Real %
14	6%	4%	0%	0%	0%	0%
16	23%	16%	0%	0%	0%	0%
18	36%	29%	0%	0%	0%	0%
20	28%	33%	0%	0%	0%	0%
22	7%	18%	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	0%	0%	0%	0%

Resumen Cumplimientos

Resumen Planificación x Semana				Cumplimiento Plan x Semana		
Plan x Sem.	Abast.	Compra	Consumo	Cump. % Abast.	Cump. % Compra	Cump. % Cons.
SEMANA 14	1.759	2.931	1.200	101%	29%	100%
SEMANA 15	5.980	5.980	5.600	107%	95%	98%
SEMANA 16	5.980	5.980	5.500	109%	103%	96%
SEMANA 17	5.980	5.980	5.500	87%	100%	105%
SEMANA 18	5.980	2.400	5.500	130%	237%	109%
Total	25.678	23.270	23.300			

Fuente: Control Stock de Rollizos Planificación Aserradero El Cruce.

Si bien esta carta gantt entrega información relevante en términos de control, no entrega datos desagrupados para cada uno de los diámetros y desviaciones en la cantidad de ellos con respecto a los volúmenes estimados. A continuación se realizará un estudio desagrupado de los diámetros.

En primer lugar el costo de los rollizos según diámetro y grado es:

Tabla 5.19: Costo de rollizo [USD/m^3] según diámetro y grado.

	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Ø14	39,00	36,00	36,00
Ø16	43,00	40,00	40,00
Ø18	46,00	43,00	43,00
Ø20	50,00	47,00	47,00
Ø22	53,00	50,00	50,00

Fuente: Modelo de Gestión Arauco.

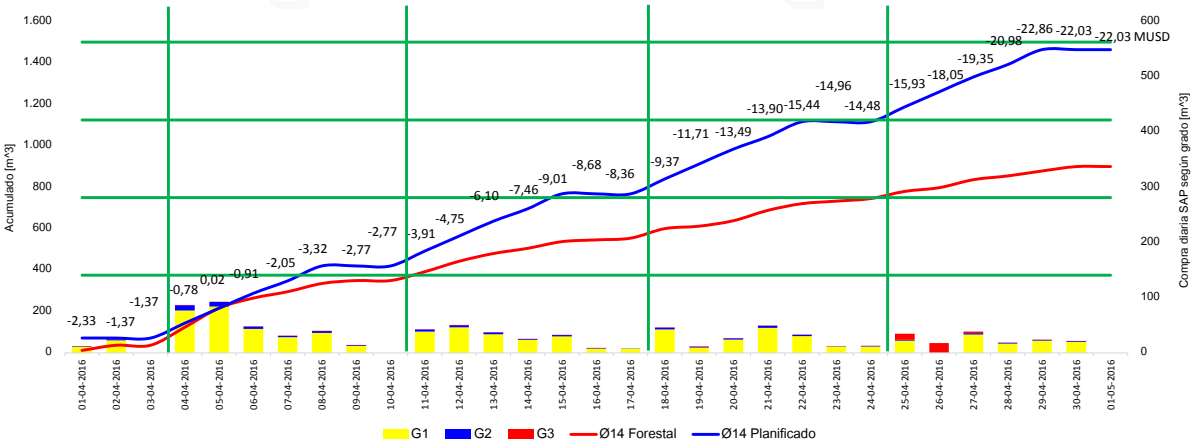
A continuación se presentan gráficos para cada uno de los diámetros, en donde para el mes de Abril sólo fueron de largo 3,40 [m]. Para poder interpretarse se deben tener las siguientes consideraciones:

- Se supone que a final de mes el volumen abastecido (forestal) debe ser igual al volumen comprado (descortezador).
- Ejes verdes horizontales (4) indican los cuartiles del total del volumen planificado estimado por el encargado de modelo de gestión de la oficina central de Arauco (AASA) en el plan de producción para el mes. Es decir, la primero línea horizontal indica que se ha cumplido un 25 % del total esperado por AASA, la segunda línea horizontal indica que se ha cumplido un 50 % del total, tercera línea horizontal indica un cumplimiento del 75 % y la cuarta línea corresponde al 100 % planificado.
- Ejes verdes verticales (4) indican el comienzo de una semana (lunes) del mes en curso.
- Eje vertical izquierdo indica los metros cúbicos de madera acumulados del mes.
- Eje vertical derecho indica la cantidad de metros cúbicos que se han comprado por día.
- Eje horizontal inferior indica la fecha en transcurso del mes.
- Barras inferiores indican los metros cúbicos comprados en el respectivo día, además el color amarillo indica lo descortezado de G1, el color azul de G2 y el color rojo de G3.

- Curva azul indica el acumulado planificado por El Cruce de compra con respecto a la distribución diamétrica entregada por AASA, se asumirá un abastecimiento constante con respecto a la distribución sólo como referencia.
- Curva roja indica el acumulado real de compra respecto a los rollizos abastecidos por Forestal.
- Las etiquetas por sobre la curva azul indican el costo de materia prima en miles de dólares [MUSD] de la desviación con respecto a la curva de referencia.

Así los gráficos resultantes quedan:

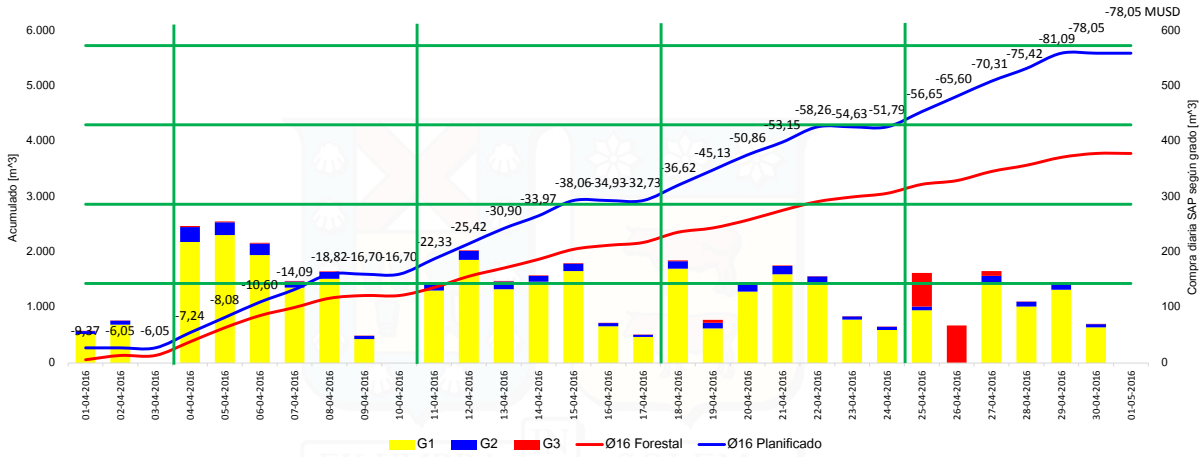
Figura 5.26: Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 3,40 [m] Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 5.26 primero a mencionar, la planificación de AASA converge con la planificación estimada por El Cruce con respecto a los metros cúbicos que se deben abastecer de forma mensual. (Ver final curva azul con cuarta línea horizontal). Además se aprecia una diferencia porcentual volumétrica de un -38,6 % de abastecimiento, equivalente a -22,03 [MUSD] en costo de materia prima, en donde al comienzo de la cuarta semana del mes sólo se llega al 50 % de lo estimado.

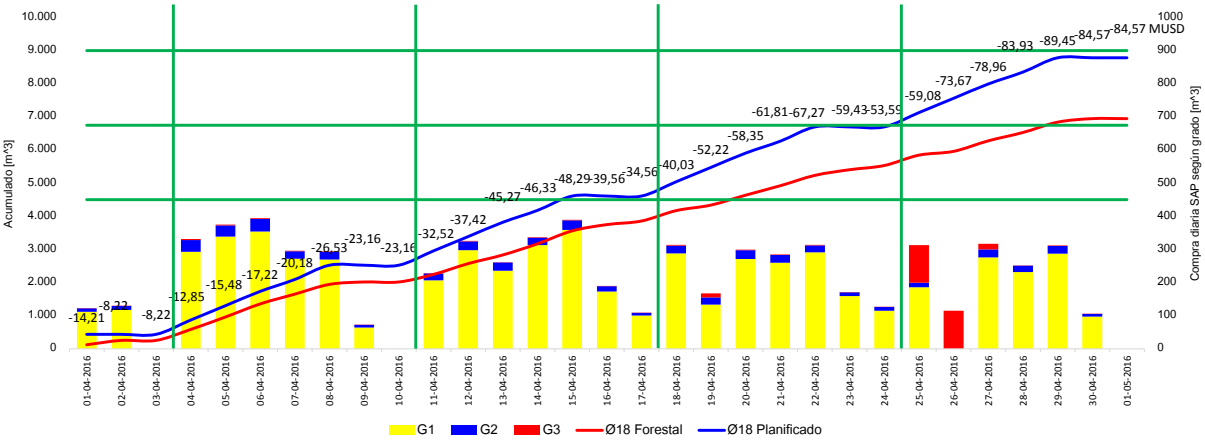
Figura 5.27: Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 3,40 [m] Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 5.27, se tiene que para el diámetro 16, se aprecia una diferencia porcentual de un -32,3 % de abastecimiento, que equivale a -78,05 [MUSD] y en donde a final de mes no se alcanza al 75 % de lo estimado.

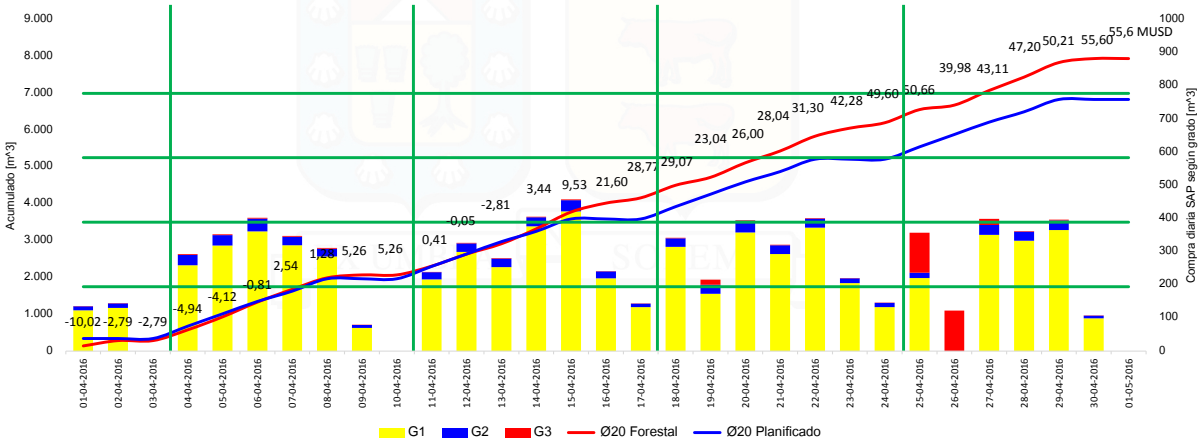
Figura 5.28: Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 3,40 [m] Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 5.28, se aprecia un desabastecimiento de -20,9 % de diámetro 18, lo que se traduce en -84,57 [MUSD] en donde a final de mes se alcanza sólo el 80 % aproximado de lo estimado por AASA y El Cruce.

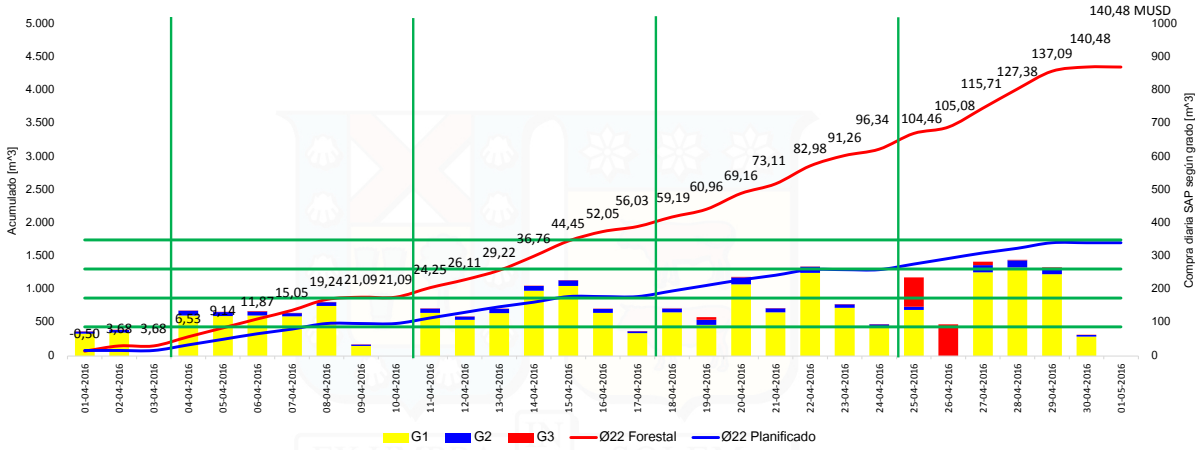
Figura 5.29: Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 3,40 [m] Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 5.29, se tiene que para el diámetro 20, por el contrario que para diámetros menores, una diferencia porcentual de un 16,3 % de abastecimiento por sobre lo estimado para el mes de Abril, en donde a mediados de la segunda semana se observa un sobre-abastecimiento que se mantiene hasta final del mes ocasionando un costo final por materia de 55,60 [MUSD].

Figura 5.30: Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 3,40 [m] Abril 2016.

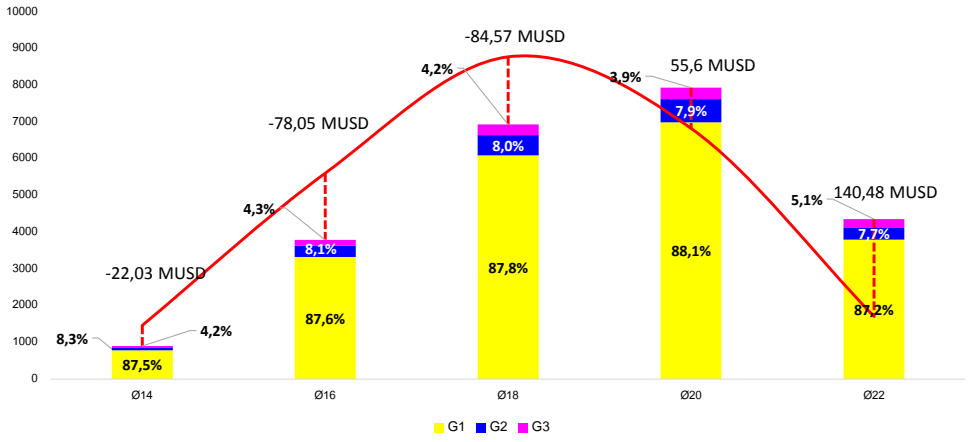


Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente en la figura 5.30, se tiene a final de mes una diferencia porcentual de un 155,2 % volumétrica de diámetro 22, en donde el día Viernes 15 de Abril se alcanza el volumen estimado tanto por AASA como por El Cruce, equivalente 140,48 [MUSD] por concepto de materia prima.

Al hacer un compilado de toda esta información se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 5.31: Distribución Diamétrica Abril 2016 Largo 3,40 [m].



Fuente: Elaboración Propia.

De lo anterior (5.31), se observa se tiene un sesgo a la izquierda con respecto a la distribución planificada (curva roja). Además, como tendencia y en promedio para cada uno de los diámetros se tiene que hay un 88 % de Grado 1, 8 % de Grado 2 y un 4 % de Grado 3. Finalmente las etiquetas demuestran la diferencia monetaria de cada diámetro con respecto a los volúmenes planificados, lo que hace un total de 11.420 [USD] para el mes de Abril. Para mayor detalle ver la siguiente tabla:

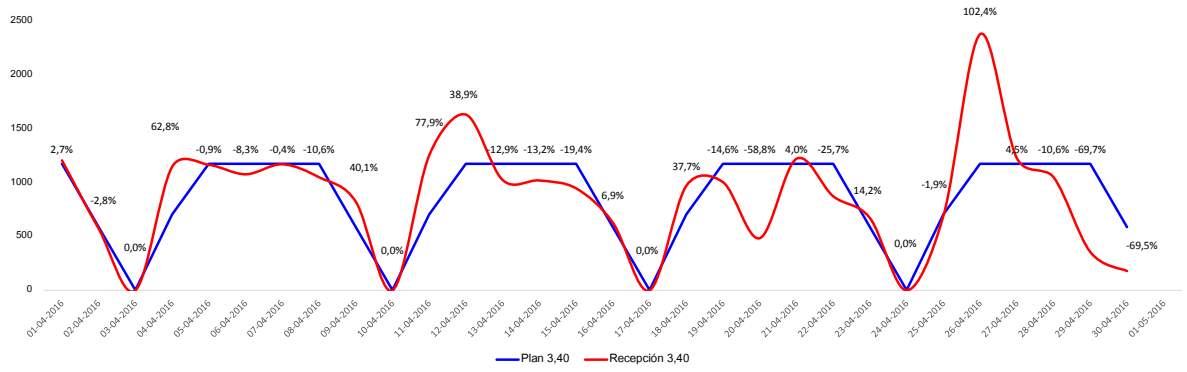
Tabla 5.20: Resumen abastecimiento Abril 2016.

Diámetro	Dist. Planificada	Dist. Real	Diferencia Dist.	G1	G2	G3	Vol. Total Real	Vol. Total Plan	Diferencia Vol.	Diferencia [MUSD]
Ø14	6,00 %	3,76 %	-2,24 %	786,45	74,83	37,87	899,15	1.464,00	-38,58 %	-22,03
Ø16	23,00 %	15,86 %	-7,14 %	3.327,33	307,68	161,77	3.796,78	5.612,00	-32,35 %	-78,05
Ø18	36,00 %	29,01 %	-6,99 %	6.097,86	556,20	291,49	6.945,55	8.784,00	-20,93 %	-84,57
Ø20	28,00 %	33,18 %	5,18 %	6.999,43	630,96	313,54	7.943,93	6.832,00	16,28 %	55,60
Ø22	7,00 %	18,20 %	11,20 %	3.800,54	335,89	222,14	4.358,57	1.708,00	155,19 %	140,48
Total				21.011,61	1.905,56	1.026,80	23.943,98	24.400,00	-1,87 %	11,42
				87,75 %	7,96 %	4,29 %				

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente el abastecimiento agregado por día se comportó de la siguiente manera:

Figura 5.32: Abastecimiento Abril 2016.



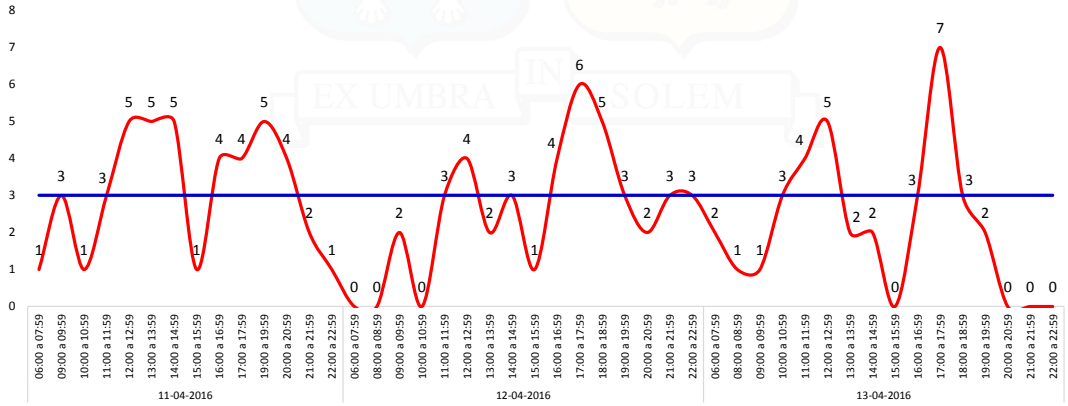
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 5.32, se observa que hasta el día 10 de Abril, hay un abastecimiento con leves desviaciones con respecto a lo planificado, sin embargo luego de este día se presentan variaciones significativas, por ejemplo el día 11 de Abril se tiene un incremento de 77,9 % y el día siguiente un 38,9 %. Esto genera problemas de rotación de inventario, pues la planificación contempla la capacidad de descortezado y al haber un aumento se mantiene por una mayor cantidad de días el

stock en cancha, provocando un consumo más rápido de estos, ya que por estándar Arauco se debe mantener máximo 10 días hasta ser transformado en producto final terminado.

Junto a lo anterior Forestal Arauco planifica un número de llegada de 3 camiones por hora, en donde el aserradero debe ser capaz de atender a cada uno en 25 minutos, es decir, tener un tiempo de flujo de 25 [min/camión]. Dado esto, a continuación se presenta el flujo de camiones desde el 11 al 13 de Abril, correspondiente a los días que se tuvo exceso de abastecimiento.

Figura 5.33: Flujo de camiones 10 a 13 de Abril por hora.



Fuente: Elaboración Propia.

Es posible observar en la figura anterior (5.33) la alta variabilidad existente del flujo de camiones que abastecen a la planta con rollizos. Se espera por un lado, que estos no alcancen a ser atendidos según las exigencias de Forestal S.A. y por otro problemas de capacidad para descortezar, pues en algunas horas del día no existe un volumen de inventario de rollizos con corteza que permita trabajar al descortezador a su máxima capacidad y así tener un volumen constante de rollizos a disposición para alimentar a la zona de aserradero. Por el contrario, existirán horas en que el descortezador trabajará a su máxima capacidad pero este volumen de materia prima alcanzará sólo para ser consumida o mantener bajos volúmenes de inventario que perjudicarán las líneas de producción en caso de que el descortezador presente problemas teniendo detenciones parcial de la líneas de producción. Para corroborar estas hipótesis se muestra la siguiente tabla de la llegada de camiones para dos casos: 11 de Abril durante las 9:00 y 10:00 horas, en donde llegaron 3 camiones coincidiendo con lo establecido por Forestal Arauco y para el 13 de Abril durante las 17:00 y 18:00 horas, donde llegaron 7 camiones sobre pasando por más del doble de lo planificado.

Tabla 5.21: Llegada de camiones con tasa de llegada [camiones/hora] distinta.

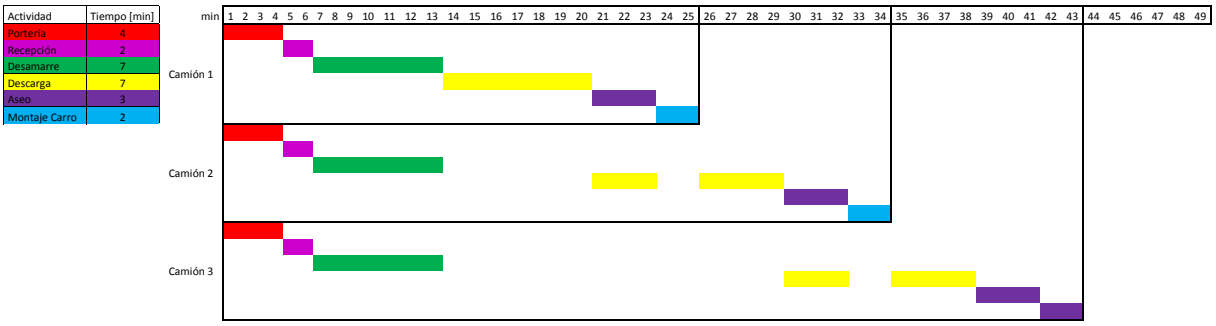
Fecha Ingreso	Hora Llegada	Hora Salida	Origen	Fecha de Podado	Antiguedad Rollizo	Tiempo de Ciclo [min]
11-04-2016	9:10	9:35	EL TREBOL CBB	07-04-2016	4,00	25,00
11-04-2016	9:41	10:03	EL TREBOL CBB	07-04-2016	4,00	22,00
11-04-2016	9:50	10:13	ESTANCIA FLORA	10-04-2016	1,00	23,00
13-04-2016	17:02	17:25	POTRERO CABRERA NORTE	08-04-2016	5,00	23,00
13-04-2016	17:08	17:35	PINARES DE FOREL	09-04-2016	4,00	27,00
13-04-2016	17:10	17:45	CHUPON Y NARANJO	11-04-2016	2,00	35,00
13-04-2016	17:12	17:55	PICAZO 1 LLANQ CV2012	07-04-2016	6,00	43,00
13-04-2016	17:21	18:00	ESTANCIA FLORA	11-04-2016	2,00	39,00
13-04-2016	17:24	18:10	EL TREBOL CBB	07-04-2016	6,00	46,00
13-04-2016	17:45	18:15	POTRERO CABRERA NORTE	10-04-2016	3,00	30,00

Fuente: Movimientos de Camiones, Recepción Aserradero El Cruce.

Es posible observar que para el día 11 de Abril durante la hora de estudio, el tiempo de ciclo es de 25, 22 y 23 [min], en donde el tiempo entre llegadas de camiones fue de 31 y 9 [min] respectivamente. Por otro lado, para el día 13 se ve que el tiempo entre llegada de los camiones es de 2 [min], esto es tendiendo a cero por lo que repercute en tiempos de ciclo de 23, 27, 35, 43, 39, 46 y 30 [min] evidenciando un aumento del tiempo de atención.

Ahora en forma de estudio, se analizará según el tiempo de las actividades realizadas en la llegada de camiones, los tiempos muertos que se ocasionan cuando la llegada de camiones tiende a ser de manera conjunta. Para esto se presenta la siguiente carta gantt:

Figura 5.34: 3 camiones al mismo instante de tiempo.

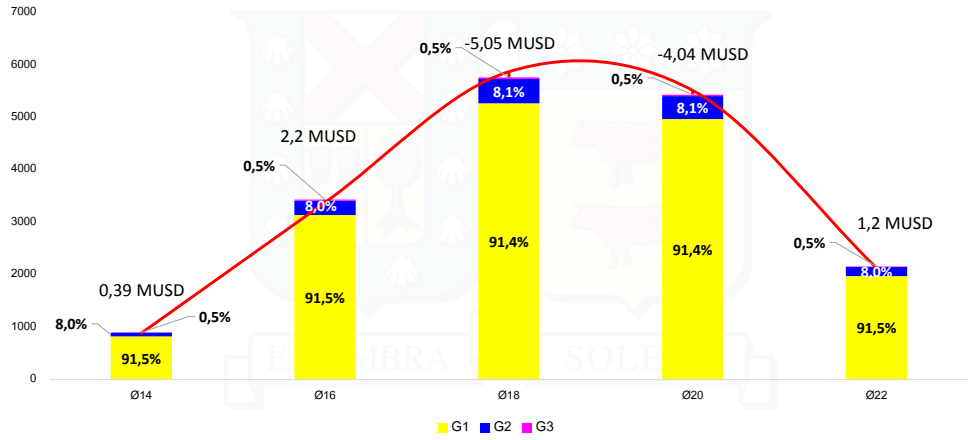


Fuente: Elaboración Propia.

Así en la figura 5.34 se tiene que al llegar los 3 camiones juntos se generan tiempos muertos de atención para el camión 2 de 9 [min] y 18 [min] para el camión 3. Adicionalmente se tienen tiempos de flujo de 25, 34 y 43 [min] para los camiones 1, 2 y 3 respectivamente, semejante a la realidad mostrada en la tabla 5.21.

Por otro lado y luego de analizar el comportamiento completo del abastecimiento del mes de Abril, se tienen las siguientes distribuciones diamétricas[18] para Mayo de 2016:

Figura 5.35: Distribución Diamétrica Mayo 2016 Largo 3,40 [m].



Fuente: Elaboración Propia.

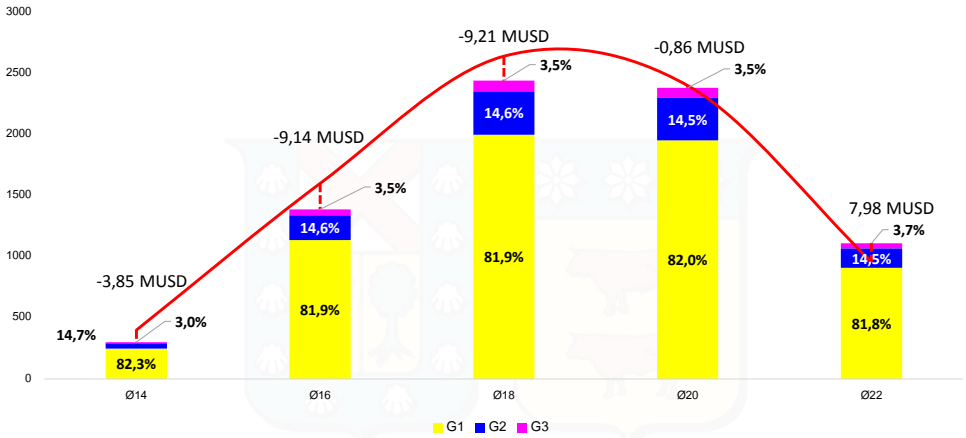
Tabla 5.22: Resumen abastecimiento Mayo 2016 Largo 3,40 [m].

Diámetro	Dist. Planificada	Dist. Real	Diferencia Dist.	G1	G2	G3	Vol. Total Real	Vol. Total Plan	Diferencia Vol.	Diferencia [MUSD]
Ø14	5,00 %	5,09 %	0,09 %	823,63	72,06	4,27	899,96	890,00	1,12 %	0,39
Ø16	19,00 %	19,40 %	0,04 %	3.140,80	275,74	16,55	3.433,09	3.382,00	1,51 %	2,20
Ø18	33,00 %	32,58 %	-0,42 %	5.270,20	465,21	28,87	5.764,27	5.874,00	-1,87 %	-5,05
Ø20	31,00 %	30,73 %	-0,27 %	4.972,04	438,24	26,93	5.437,21	5.518,00	-1,46 %	-4,04
Ø22	12,00 %	12,20 %	0,20 %	1.975,10	172,66	10,86	2.158,61	2.136,00	1,06 %	1,20
Total				16.181,77	1.423,91	87,48	17.693,15	17.800,00	-0,60 %	-5,50
				91,46 %	8,05 %	0,49 %				

Fuente: Elaboración Propia.

[18] Para mayor detalle ver anexo F.

Figura 5.36: Distribución Diamétrica Mayo 2016 Largo 4,10 [m].



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.23: Resumen abastecimiento Mayo 2016 Largo 4,10 [m].

Diámetro	Dist. Planificada	Dist. Real	Diferencia Dist.	G1	G2	G3	Vol. Total Real	Vol. Total Plan	Diferencia Vol.	Diferencia [MUSD]
Ø14	5,00 %	3,95 %	-1,05 %	248,06	44,22	9,13	301,41	400,00	-24,65 %	-3,85
Ø16	20,00 %	18,20 %	-1,80 %	1.136,03	202,24	49,08	1.387,34	1.600,00	-13,29 %	-9,14
Ø18	33,00 %	32,01 %	-0,99 %	1.998,04	355,10	86,32	2.439,86	2.640,00	-7,58 %	-9,21
Ø20	30,00 %	31,26 %	1,26 %	1.953,12	346,56	83,10	2.382,78	2.400,00	-0,72 %	-0,86
Ø22	12,00 %	14,57 %	2,57 %	908,56	160,50	41,44	1.110,50	960,00	15,68 %	7,98
Total				6.244,20	1.108,62	269,07	7.621,89	8.000,00	-4,73 %	-15,08
				81,92 %	8,05 %	3,53 %				

Fuente: Elaboración Propia.

Notar que para el largo 3,40 [m] del mes de Mayo las desviaciones son menores a las desviaciones para el mismo largo durante el mes de Abril. Dado esto y para dimensionar no sólo el costo relacionado a la materia prima, es que se estudiará para el mes de Abril el costo de oportunidad por no producir con un rollizo de cierto diámetro y el costo oportunidad por producir escuadrías con otro diámetro distinto.

Iniciando se establecen los márgenes ex-fábrica[19] según mercado para el mes de Abril:

Tabla 5.24: Márgen ex-fábrica [USD/m^3] Abril 2016.

Mercado	Margen Ex-Fáb. [USD/m3]
COR	118,80
CHI	72,82
EUR	51,69
NAC	-53,75
JAP	169,77
MOR	125,58
TAW	149,65

Fuente: Elaboración Propia.

Luego, se realiza un compilado de los programas de trabajo según largo y diámetro desde Diciembre de 2015 hasta Marzo de 2016 (El horizonte de tiempo se debe a mejoras en las maquinarias y cambios en la programación de esquemas con respecto a los que se realizaban anterior a estas fechas). Así, ajustando distribuciones de probabilidad normal se obtienen intervalos al 95 % de confianza para el rendimiento real por diámetro. Además se obtendrá un promedio de margen por diámetro y largo según los mercados a los que corresponde las escuadrías producidas en dichos rollizos. De esta manera se obtiene el porcentaje de materia prima producida por rollizo (Rendimiento) y el margen ex-fábrica que entrega obteniendo así el costo por no producir. Dado lo anterior, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 5.25: Costo por no producir [USD/m^3].

$Z_{95\,\%}$	1,96	Abril 2016					
Largo	ϕ	n	Rend. % Prom.	Rend. % Desv. Std	IC Rend. %		Margen Ex-Fáb. [USD/m3]
3,4 [m]	14	19	35,66 %	1,76 %	36,40 %	37,59 %	100,48
	16	45	37,95 %	3,86 %	38,12 %	39,34 %	115,64
	18	66	39,33 %	3,78 %	39,73 %	40,77 %	117,96
	20	73	39,85 %	5,37 %	40,45 %	41,69 %	118,45
	22	28	40,95 %	10,23 %	39,24 %	41,85 %	111,13
3,6 [m]	14	2	40,16 %	0,41 %	34,57 %	38,97 %	61,14
	16	7	37,78 %	1,52 %	35,77 %	37,43 %	80,96
	18	17	37,74 %	2,81 %	36,76 %	38,60 %	107,04
	20	12	37,24 %	3,11 %	37,53 %	40,47 %	88,23
	22	6	34,92 %	1,69 %	35,11 %	37,59 %	99,99
4,1 [m]	14	9	34,76 %	2,74 %	35,33 %	36,97 %	117,50
	16	23	36,20 %	2,14 %	36,31 %	37,56 %	125,09
	18	41	36,88 %	3,78 %	37,84 %	38,99 %	120,07
	20	35	37,63 %	3,15 %	38,59 %	39,72 %	115,47
	22	14	38,56 %	2,14 %	37,84 %	39,04 %	123,56

Fuente: Elaboración Propia.

[19]Márgen ex-fábrica: Utilidad correspondiente al precio de venta descontando sólo el costo de producción de planta.

Luego de los mismos programas de trabajo estudiados en la tabla 5.25, se cruzan las escuadrías producidas en distinto diámetro y se ajustan distribuciones de probabilidad normal asociado a la brecha de rendimiento por cambio de diámetro. Así se obtiene la siguiente matriz de pérdida cruzada de rendimiento largo 3,40 [m] para el mes de Abril de 2016, que corresponde al costo de oportunidad de producir con un diámetro distinto.

Tabla 5.26: Matriz pérdida cruzada de rendimiento [%] largo 3,40 [m] Abril 2016.

ϕ	14	16	18	20	22
14		-2,10 % 0,32 %	-4,29 % 0,77 %	-2,94 %	0,00 %
16			-1,12 % 0,07 %	-2,81 % 1,39 %	-3,45 % 2,19 %
18				-2,62 % 0,24 %	-3,38 % -0,04 %
20					-2,50 % 0,91 %
22					

Fuente: Elaboración Propia.

Dado que ya se tienen los márgenes por rollizo (5.25) y con la tabla anterior, se obtiene la matriz de pérdida cruzada en [USD/m^3]:

Tabla 5.27: Matriz pérdida cruzada [USD/m^3] largo 3,40 [m] Abril 2016.

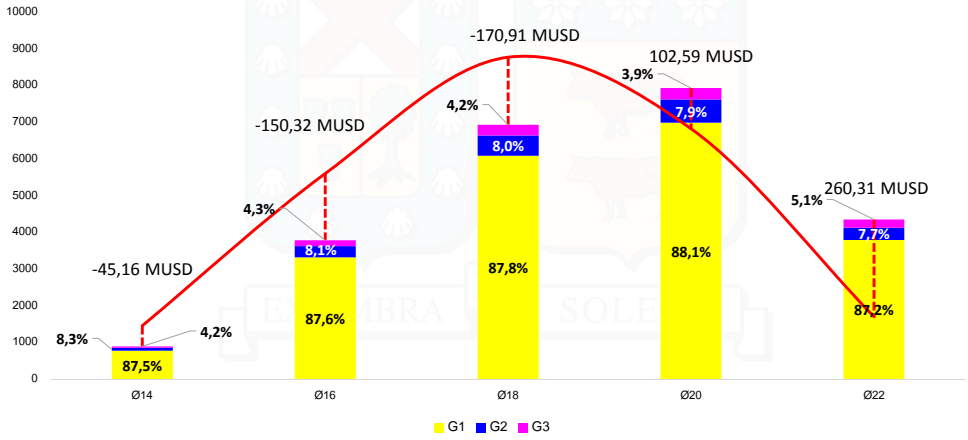
ϕ	14	16	18	20	22
14		-2,26 0,34	-5,01 0,89	-3,49	0,00
16			-1,30 0,08	-3,33 1,65	-4,17 2,65
18				-3,11 0,28	-4,08 -0,05
20					-3,02 1,10
22					

Fuente: Elaboración Propia.

Con la información obtenido hasta aquí, ya se puede determinar el monto que se ha dejado de percibir por concepto de dejar de producir por desabastecimiento de algún diámetro y también el monto que se deja de percibir por concepto de producir escuadrías con otro diámetro en contra parte de producirlo con el correspondiente rollizo de diámetro idóneo.

Finalmente se tiene el siguiente gráfico donde se reúne el costo de materia, costo de oportunidad por no producir por desabastecimiento y el costo de oportunidad por producir con diámetro distinto:

Figura 5.37: Costo de Oportunidad de Distribución Diamétrica Abril 2016 Largo 3,40 [m] .



Fuente: Elaboración Propia.

Al recolectar los datos se tiene que el costo por materia prima extra del mes de Abril fue de 11.420 [USD] y el costo total, incluyendo el costo de oportunidad, fue de -3.480 [USD]. Cabe mencionar que el costo de oportunidad para este caso no fue excesivamente menor dado que el mix de producción se ajustan de buena manera a rollizos de diámetro mayor, no obstante al darse la posibilidad de otro mix con escuadrías de espesor pequeño como es el caso de escuadrías del mercado japonés y una distribución sesgada a diámetros mayores, el costo de oportunidad sería aún más pequeño. Sin embargo, de igual manera el costo por concepto de materia prima fue positivo, lo que indica un costo mayor que se imputa al costo operacional de la planta y por otro lado el costo de oportunidad negativo indica una pérdida por concepto de no disponer con los rollizos planificados.

5.3.2. Estudio Efectividad de Escáner

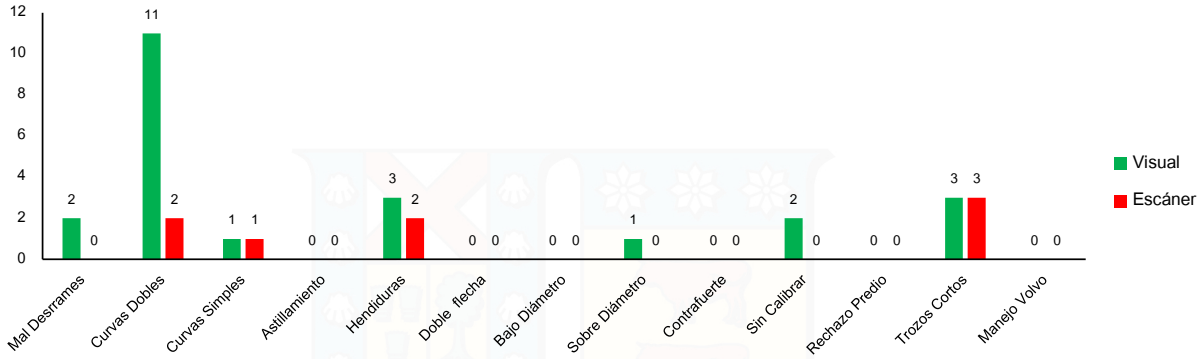
Una vez que los rollizos son acopiados en la cancha de rollizos con corteza, estos son descortezados para posteriormente ser escaneados y finalmente clasificados según diámetro, separando los rollizos con defectos.

Los defectos por los cuáles se rechaza un rollizo en Planta El Cruce son:

- Mal Desrrame: Trozo al cual presenta mal cortes de sus ramas.
- Curvas Dobles o Doble Curvatura: Doble desplazamiento transversal de la forma a lo largo del trozo similar a la letra ”S”.
- Curva Simple o Curvatura: Desplazamiento transversal en la forma del trozo a lo largo de este.
- Astillamiento: Trozo al cual le falta una parte al inicio o término de este.
- Hendidura: Trozo al cual le falta una parte a lo largo de este.
- Doble flecha: Trozo el cual presenta división de ramas al inicio o término de este.
- Bajo Diámetro: Trozo el cual su diámetro mínimo es menor al aserrado por Planta El Cruce.
- Sobre Diámetro: Trozo el cual su diámetro mínimo es mayor al aserrado por Planta El Cruce.
- Contrafuerte: Trozo el cual comienza con un diámetro y termina con otro significativamente menor o viceversa.
- Rechazo Predio: Trozo el cual no corresponde ningún diámetro y/o largo, generalmente no vienen calibrado (diametrado).
- Trozos Cortos: Trozo de largo menor al largo por el cual se está comprando.

Para cada Jueves del mes de Abril de 2016 junto con Inspector de Control Procesos se realiza un estudio completo de un carga de camión en conjunto con personal de Forestal Arauco S.A., en donde se miden cada una de las variables que caracterizan al rollizo. De esta manera se contrarresta información real versus la información entregada por el escáner de descortezado, específicamente a continuación se presentan estudios de los defectos de los rollizos de manera de comprobar la efectividad del descortezador y escáner para rechazar rollizos que afectan el posterior proceso de aserrado.

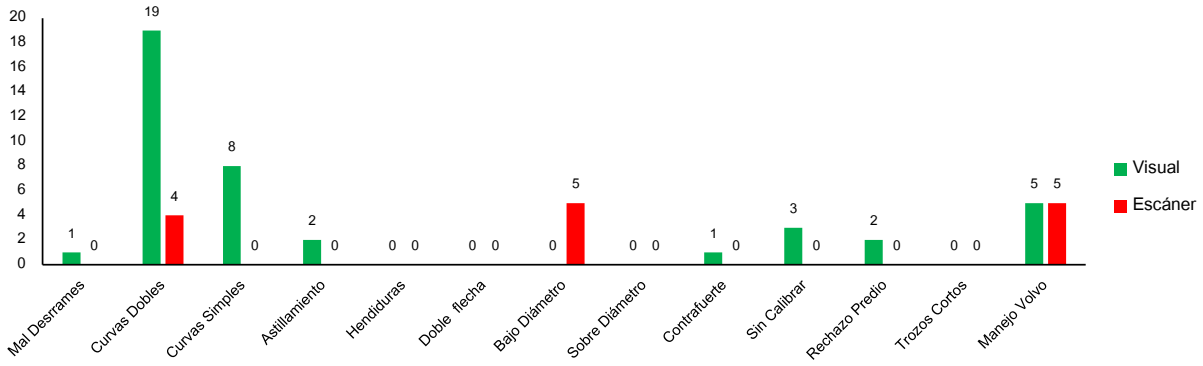
Figura 5.38: Caracterización Rechazo 07 de Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

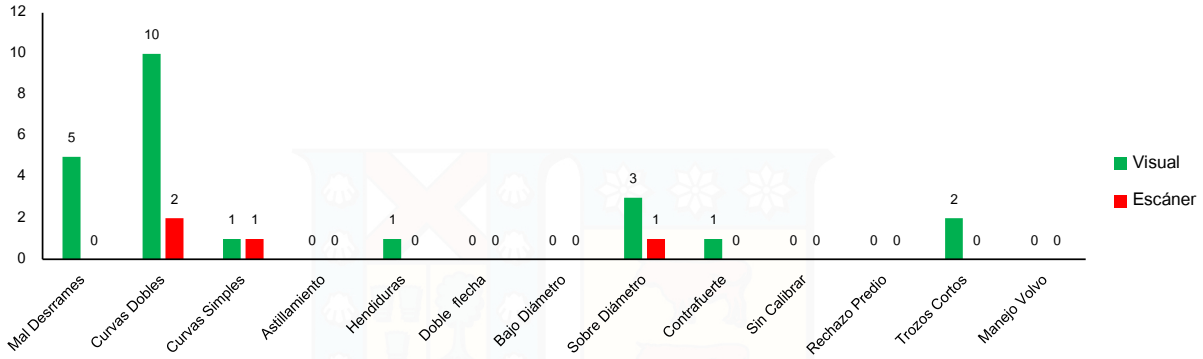
Es posible notar en la figura 5.38, diferencias de rechazo en forma visual y escáner siendo la más notoria el rollizo con doble curva, las consecuencias de estas se pueden observar en la sección 5.2.1 y figura 5.17. Siguiendo se presentan los estudios de los siguientes días:

Figura 5.39: Caracterización Rechazo 14 de Abril 2016.



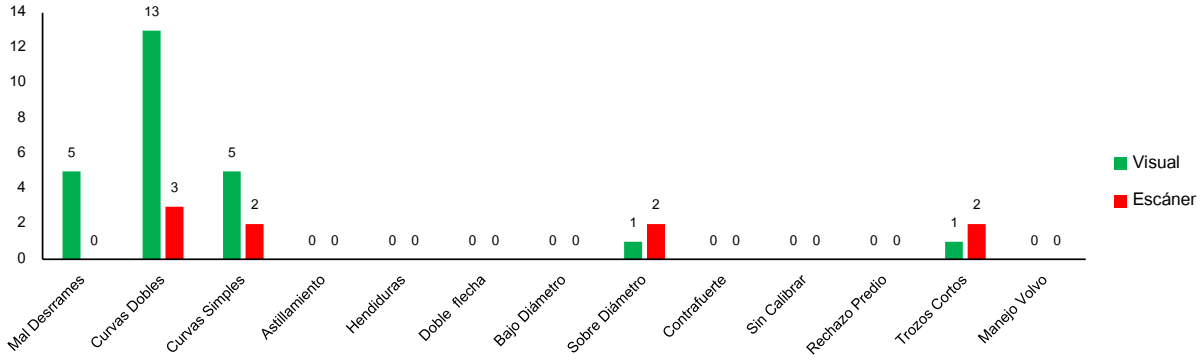
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.40: Caracterización Rechazo 21 de Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.41: Caracterización Rechazo 28 de Abril 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.42: Trozo curvo en estudio de tendido.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.43: Curvatura rollizo diámetro 16.



Fuente: Elaboración Propia.

De los estudios anteriores se puede obtener la siguiente tabla resumen del estudio de caracterización de rechazo con respecto a la doble curvatura:

Tabla 5.28: Resumen doble curvatura.

	Estudio 1	Estudio 2	Estudio 3	Estudio 4	Promedio	Desv. Estándar
% Doble Curvatura	4,40 %	5,94 %	4,17 %	5,20 %	4,93 %	0,81 %
% Doble Curvatura Detectada	18,18 %	21,05 %	20,00 %	23,08 %	20,58 %	2,04 %

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 5.28, se determina que en promedio un 5 % del total del volumen estudiado presenta doble curvatura, en la cual sólo el 20 % es detectada por el escáner. La gravedad de este defecto se debe a que debido la tecnología del activo estos rollizos son considerados como Grado 1, es decir, rollizos con un porcentaje de defectos tal para ser considerado un rollizo ”cilíndrico”.

Escalando esta información al abastecimiento total del mes de Abril se espera un aproximado de 1.197 [m^3] de materia prima con doble curva, equivalente a 12.000 rollizos de los cuáles sólo 2.240 rollizos son detectados por el escáner. Además incorporando información de la tabla 5.27 es posible determinar el costo de ineficiencia por comprar rollizos Grado 3 con doble curvatura como rollizos regular de Grado 1, alcanzando 3.591 [USD] adicionales al mes por concepto de mal clasificación de rechazo por descortezado.

5.3.3. Conclusiones

Finalizado todo el análisis anterior, es posible determinar las siguientes conclusiones con respecto a la confiabilidad de los suministros:

- La actual carta gantt de rollizos no muestra las diferencias volumétricas de forma desagregada, por lo cual se pierde conocimiento de las diferencias por diámetro. Al ser significativa, se incrementan los costos de materia prima como también el costo de oportunidad asociado a la producción de escuadrías en rollizos con esquemas de corte que no son los óptimos para el mayor aprovechamiento del rollizo.
- Existe diferencias de volúmenes abastecidos por día planificado. La causa de esto se debe a variaciones en el flujo de camiones diario que destina Forestal S.A. y que no concuerda con lo planificado por ellos mismos, provocando por un lado aumento del tiempo de atención y problemas de rotación de inventario ya que se mantiene con más días de anticipación el stock de materia prima en planta dado que la capacidad del descortezador se verá sobrepasada, haciendo que estos se deban consumir además de manera rápida pues por estándar Arauco los rollizos no deben sobrepasar los 10 días desde que fueron cortados en bosque hasta que se convierten en producto final terminado.
- Dada la tecnología del escáner, este no rechaza la doble curvatura representando el 5 % del total del volumen estudiado, en donde el 80 % pasa a zona de aserradero. Este costo de oportunidad sólo por comprar rollizos de Grado 3 como Grado 1 puede alcanzar los 3.591 [USD]. Este además genera problemas de producción detallados en el análisis de centrado (5.2.1).

5.4. Confiabilidad Humana

Tal como se explicó en la sección 3.2.3, la confiabilidad humana es el conjunto de elementos relacionados con las capacidades laborales con el objetivo de reducir la falla humana considerando el diseño, operación y gestión del sistema en el cual trabajan. Para este análisis se estudiarán fallas humanas encontradas dentro de los estudios anteriormente realizados.

5.4.1. Fallas Humanas dentro de las Líneas de Producción

En primer lugar y como se ha visto hasta este punto en el presente trabajo de memoria, la baja tecnología del aserradero deja un alto grado de responsabilidad a los operadores a los resultados operacionales de la planta. Dado lo anterior, es que la primera falla humana y de forma transversal en las líneas de producción es el problema del centrado.

En la sección 5.2.1 se detalló el impacto que tiene el centrado del twin en la producción de los esquemas de trabajo, específicamente en la sub-producción de escuadrías centrales y sobre-producción de escuadrías laterales por presencia de canto muerto en la semibasa debido al mal centrado del rollizo al pasar por las cuchillas del twin. Sin embargo la máxima obtención de piezas laterales es por parte de los operadores de los trozadores y clasificadores que deben tener la capacidad de eliminar las piezas cortas rechazadas. Para esto se realizará el estudio para el trozador B, activo que pertenece a la línea principal que produce el 85 % de la producción total, y tiene como función recuperar de las piezas largas rechazadas y cortarlas para obtener piezas de largo menor. El siguiente análisis se basó en dos escenarios de comparación, uno donde el operador elimina las piezas después del centrado (acción habitual) y otro donde no se realiza esa función, razón por la cual los clasificadores siguientes al trozador deben encargarse de clasificar todas las piezas, de esta manera se podrá observar el desempeño de los operadores de ambos puestos de trabajo.

El programa de trabajo a estudiar se detalla a continuación:

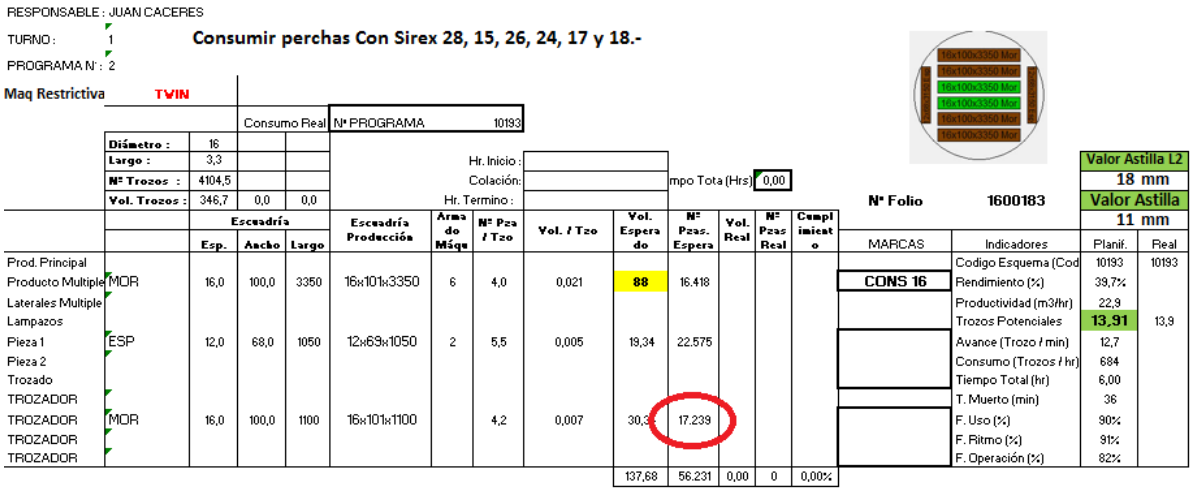
Tabla 5.29: Programa para estudio de trozador B.

Folio	1600183		
Programa	10193		
Diámetro	16 [cm]		
Escuadrías	Alto [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]
Central	16	100	3350
Lateral	12	68	1050

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar el tiempo a analizar se observará el programa de trabajo:

Figura 5.44: Programa de trabajo 1600183.



Fuente: Planificación Aserradero El Cruce.

De la figura anterior (5.44), la ecuación 3.14 y considerando que la máxima capacidad del trozador es pasar 19 [lampazos/min], se tiene los siguientes datos para obtener el tiempo a muestrear:

$N = 17.239$ [piezas].

$\alpha = 0{,}05$.

$Z^2_{\frac{\alpha}{2}} \approx 1{,}96$.

p = Como no se tiene información previa, se utiliza p=0,5.

q = 0,5.

e = Error recomendado por planta Aserradero El Cruce 0,05.

n = 375 [piezas] = 125 [lampazos].

Dada la capacidad del trozador, se determina que el tiempo a muestrear es de 6,59 [min] aproximándose a 7 [min]. Se toma la decisión de realizar el estudio con tiempo ya que así se mide el impacto en la capacidad productiva de ambos escenarios, pues se esta trabajando con la línea principal de aserradero.

A continuación se presentan los resultados para cuando el operador del trozador clasifica piezas de rechazo:

Tabla 5.30: Resultados operador trozador B rechazando.

			Rechazo
Total piezas clasificadas	355	Bien clasificadas	4
		Mal clasificadas	3
Total piezas eliminadas por trozador	145	Bien clasificadas	138
		Mal clasificadas	7
		Total mal clasificado	10

Fuente: Elaboración Propia.

Del estudio anterior, se desprende que de un total de 500 piezas estudiadas, sólo el 2 % se clasificó mal. Asimismo, de las piezas clasificadas por el clasificador un 0,84 % fue clasificada mal por parte de éstos, mientras que por parte de los operarios de trozado se obtuvo un 4,82 % de mal clasificado. Por otro lado, en la siguiente tabla se muestran los resultados del estudio cuando el operador del trozador no elimina piezas para ser rechazadas sólo por los clasificadores:

Tabla 5.31: Resultados operador trozador B sin rechazar.

			Rechazo
Total piezas clasificadas	322	Bien clasificadas	0
		Mal clasificadas	0
Total piezas eliminadas por clasificador	132	Bien clasificadas	125
		Mal clasificadas	7
		Total mal clasificado	7

Fuente: Elaboración Propia.

Del segundo escenario, se tiene un total de 454 piezas estudiadas, de las cuales un 1,54 % de las piezas fue clasificada mal por parte del operador de clasificado. Como conclusión final del estudio de rechazo del trozador B se tiene que cuando el operador del trozador realiza la tarea de clasificar se pierde un 2 % de trozos, mientras que cuando no realiza esta tarea se pierde un 1,54 % de éstas. Los números indican que se pierde menos madera cuando el operador no clasifique, no realizar esta acción provoca un severo atoche en el aserradero pues la capacidad de los clasificadores al final de las líneas de producción se ve sobrepasada, demostrándose en la cantidad total de piezas para cada uno de los estudios siendo menor cuando el trozador no rechaza.

Por otro lado y como se vio en la misma sección de estudio de centrado (5.2.1), un mal centrado del twin da la posibilidad de recuperar piezas por los laterales ya que los lampazos no son del mismo tamaño como se demostró estadísticamente. Para esto, dentro del aserradero se ha dispuesto una cinta de retorno que permita a los operadores del despuntador 2 devolver hacia las grimmes los lampazos en los que se puede obtener más piezas que las planificadas. Para el estudio de centrado 3, la tabla de resultados 5.13 muestra que se pueden obtener un 10 % de los lampazos de la Grimme 1 una pieza extra y en el 40 % para el caso de la Grimme 2.

Dado el ritmo promedio del aserradero, es que se determina que por esta VIOLACIÓN (error consciente) se pueden recuperar 15 [piezas] extras en 3 [min] y que dada la configuración del paquete que se forma con las escuadrías del programa se puede llegar a producir otro paquete extra en 189,80 [min] sólo por la utilización de la cinta retorno, que valorizado según el mercado el costo de oportunidad es de 53,20 [USD]. Escalando esta información al mes en el cuál se realizó el estudio con respecto al volumen de diámetro 16 y la escuadría obtenida por el lateral se puede establecer que para un mes es posible recuperar 3,65 paquetes equivalente a 193,94 [USD].

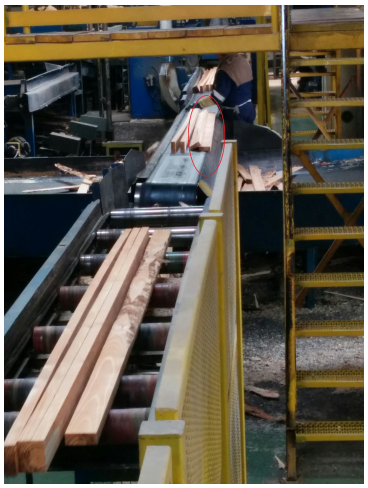
Figura 5.45: Cinta de retorno detenida.



Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente para concluir con las fallas humanas dentro de las líneas de producción se observa que a la salida de las múltiples los ayudantes de múltiples deben botar los lampazos sobrantes de la semibasa. No obstante dado lo rutinario y monótono de la actividad, se aprecia que por exceso de confianza existe la posibilidad que piezas buenas caigan hacia la zona de astillado ya que de forma inadvertida las piezas de los costados quedan al borde de la cinta de transporte. Lamentablemente existe una alta dificultad para cuantificar este error ya que ocurre de manera aleatoria causada por cualquier movimiento o accionar del ayudante de múltiples. A continuación se presenta una imagen de la problemática vista en el aserradero:

Figura 5.46: Pieza lateral en borde de cinta de transporte múltiple .



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.47: Piezas finales transportadas por cinta de transporte múltiple.



Fuente: Elaboración Propia.

Así en la figura 5.46 se aprecia un programa con 4 trozos por la semibasa, pero en la figura 5.47 finalmente sólo pasan 3 a la siguiente estación de trabajo.

5.4.2. Fallas Humanas en la Alimentación de Materia Prima

Luego de haber realizado un análisis de las fallas humanas más importantes dentro de aserradero, se comenta de forma general por personal de la planta diferencias de inventario de rollizos sin corteza con respecto a la información oficial desprendida de la base de datos del descortezador. Para observar esto a continuación se presenta una planilla entregada por el área de planificación de la planta en donde se tienen los volúmenes de las calles de la cancha sin corteza (sector donde se apilan rollizos de una misma clase) según diámetro, largo y calidad:

Figura 5.48: Diferencia volumétrica según inspección visual y base descortezador.

(Aserradero El Cruce)

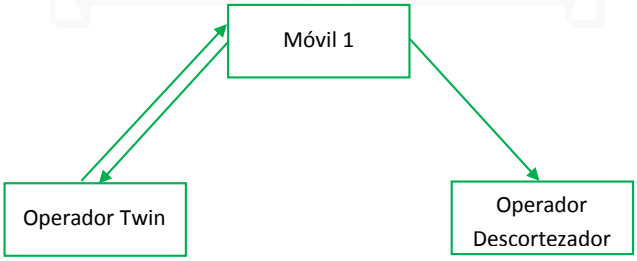
Nº Calle	Diámetro [cm]	Largo [m]	Nº Trozos	Volumen Visual [m3]	Volumen Descortezador [m3]	Calidad	Diámetro Jas
1	21	3,40	190	25,09	59,40	Sirex	20
2	21	3,40	590	77,90	85,80	Sirex	20
3	21	3,40	300	39,61	121,57	Sirex	20
4				-			0
5	22	3,40	45	7,19	4,79	Sirex	22
6				-			0
7	20	3,30	1000	132,04	135,70	Sirex	20
8	20	3,40	1060	139,96	139,92	Sirex	20
9	20	3,40	450	59,42	91,08	Sirex	20
10				-			0
11	21	3,40	900	118,84	131,08	Sirex	20
12	20	3,40	900	118,84	141,77	Sirex	20
13	19	3,40	950	101,60	97,51	Sirex	18
14	19	3,40	300	32,09	24,70	Sirex	18
15				-			0
16				-			0
17				-			0
18	14	3,40	1060	68,58	52,58	Sirex	14
19				-			0
20				-			0
21	18	3,40	1300	139,04	68,86	Sirex	18
22	18	3,40	440	47,04	68,00		18
23	18	3,40	880	94,12	112,59	Sirex	18
24	16	3,40	95	8,03	8,45		16
25	16	3,40	1540	130,14	178,25	Sirex	16
26	16	3,40	700	59,15	32,00	Sirex	16
27				-			0
				1.398,68	**1.564,00**		

Fuente: Planificación Aserradero El Cruce.

En primer lugar se observa una diferencia en el volumen total de madera sin corteza, pues el recuento de forma visual da un total de 1.398,68 [m^3] versus los 1.564,00 [m^3] que informa el área de descortezado. Según la tabla 5.19, es posible valorizar según el diámetro de rollizo y la diferencia volumétrica, alcanzando una diferencia total de -7.935,68 [USD].

Los involucrados dentro del proceso de abastecimiento desde el descortezado hacia el twin son: operador twin, operador descortezador y operador móvil 1, donde el luego de visitas a terreno se obtiene el siguiente diagrama con el flujo de la comunicación entre estos 3 actores:

Figura 5.49: Flujo de comunicación área descortezado.



Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar el flujo anterior, se tiene que el error principal es el orden del flujo de información, ya que el operador del twin debiese informar al operador del descortezador la calle a consumir, pues es este último el que maneja la información real del volumen de cada una de las calles obtenida de la base de datos del descortezador.Por lo contrario, en la actualidad es el operador del twin quien se comunica con móvil 1 para que alimente las líneas de producción. Por un lado tenemos 2 posibles consecuencias de esto: un error inadvertido por parte del móvil 1 que por la cantidad de calles y sin demarcación de estas pueda equivocarse por vacíos mentales. La otra consecuencia, y corroborada por supervisores, es la violación o error consciente de la alimentación de rollizos de diámetros mayor a lo especificado por los programas de trabajo para mejorar los índices de productividad del aserradero. La pérdida de rendimiento asociado a este cambio de diámetro quedó demostrado en la tabla 5.26.

5.4.3. Conclusiones

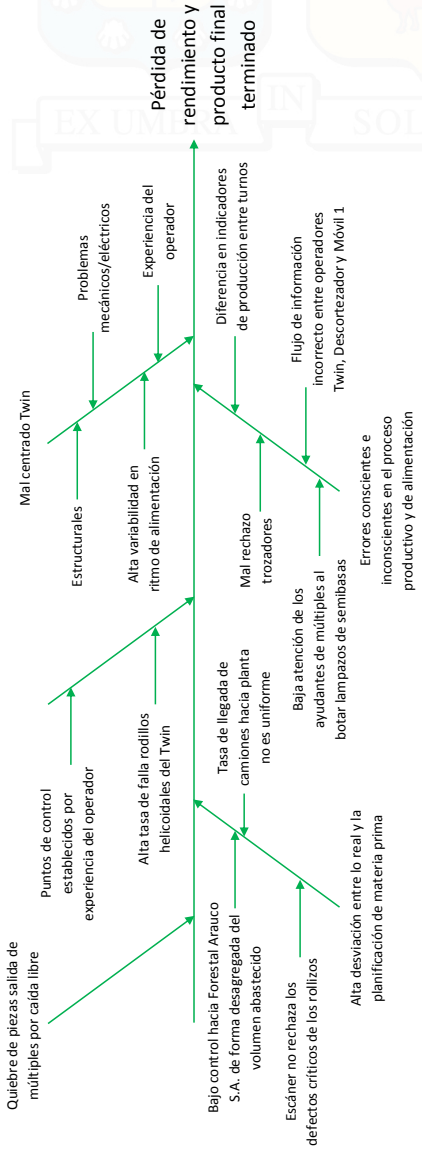
Así concluyendo el análisis de la confiabilidad humana se tiene:

- Por la baja automatización del aserradero la actividad que está presente en todas las estaciones de trabajo es el corte de madera, sería el centrado de la pieza a cortar. De manera que se pueda obtener la totalidad del esquema planificado.
- La recuperación de las piezas por la cinta de retorno puede llegar a ser significativa. Para el tercer estudio de centrado es posible obtener 15 piezas más en 3 [min], lo que dada la configuración del lote en 189,80 [min] es posible obtener un paquete extra sólo por utilizar la cinta de retorno.
- Al botar los lampazos de la semibasa, la posición con que quedan las escuadrías luego de la salida de las múltiples es justo al borde, por lo que cualquier movimiento haría que una pieza buena caiga al astillador.
- Los trozadores deben realizar el rechazo de piezas previo a los clasificadores, si bien este genera una pérdida mayor que al sólo ser rechazado por los clasificadores, el atoche en las líneas de producción generará un mayor impacto que la ganancia de 0,46 % de piezas mal rechazadas.
- Existencia de errores conscientes al momento de alimentar el twin debido al flujo de comunicación actual presente entre el operador del twin, móvil 1 y operador de descortezador. Esto genera diferencias de inventario donde el costo de ineficiencia llega a una diferencia negativa de aproximadamente -8.000 [USD], es decir, se dispone menos materia prima de lo que registra o en otras palabras, se consume más materia de lo planificado y con diámetros distintos a lo planeado.

5.5. Ishikawa Aserradero El Cruce

Ya realizado el análisis y encontrado puntos de ineficiencia en las componentes de la Confiabilidad Operacional, con el objetivo de una fácil visualización se presenta el siguiente diagrama de Ishikawa con las principales causas de pérdida de rendimiento obtenidas del estudio realizado a lo largo del presente trabajo de memoria :

Figura 5.50: Ishikawa para la pérdida de rendimiento en Planta El Cruce.



Fuente: Elaboración Propia.

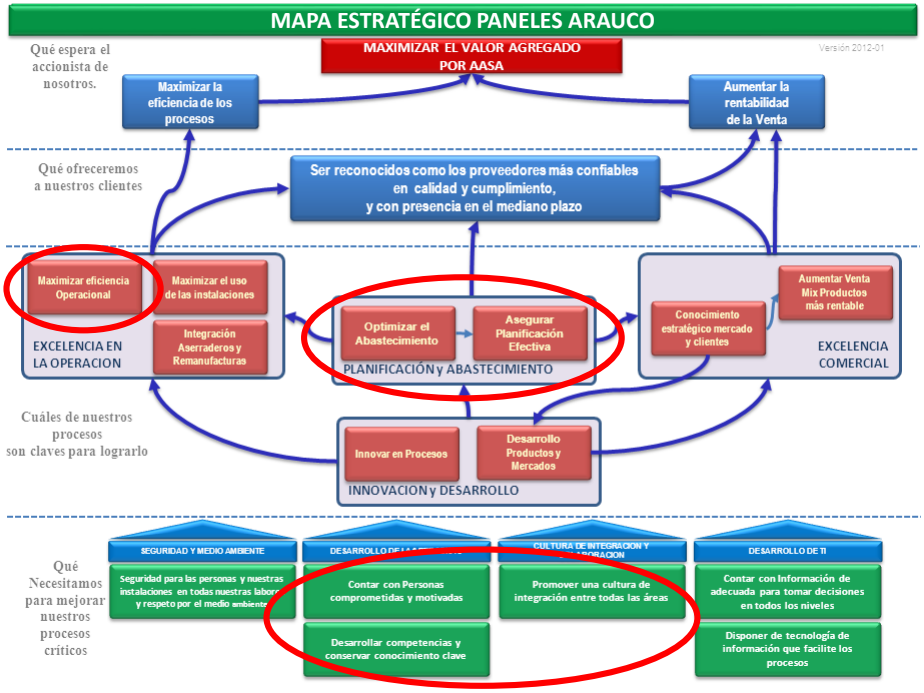
6 | Acciones según Oportunidades

Ya estudiado desde distintas aristas algunas de las causas de la pérdida de rendimiento y producto final defectuoso, en el presente capítulo se establecerán, priorizarán y desarrollarán de forma breve, oportunidades de mejora encontradas bajo el modelo de Confiabilidad Operacional. Las propuestas surgieron del trabajo en terreno, respaldadas por jefes de área, retro-alimentadas y mejoradas en conjunto con personal de la planta.

6.1. Establecimiento de Propuestas

Para el establecimiento de oportunidades de mejora, se considerará el análisis del capítulo anterior incorporando el mapa estratégico de Paneles Arauco para identificar los lineamientos existentes y si es necesario la creación de otros en los cuales deberán centrarse cada una de estas propuestas:

Figura 6.1: Lineamientos de oportunidades dentro de mapa estratégico Paneles Arauco.



Fuente: Manual de Excelencia Operacional de Arauco.

De la figura anterior (6.1), se determina que los principales lineamientos son:

- Contar con personas comprometidas y motivadas.
- Desarrollar competencias y conservar conocimiento clave.
- Promover una cultura de integración entre todas las áreas.
- Optimizar el abastecimiento.
- Asegurar planificación efectiva.
- Maximizar eficiencia operacional.

Además se considerará la filosofía de Confiabilidad Operacional en donde a través de los procesos, tecnologías y toda la organización debe verse comprometida y ser capaz de cumplir con los requerimientos dentro de los límites de diseño y las condiciones operacionales existentes, mezclando también conceptos de *Lean Manufacturing*, buscando la eficacia de una organización mediante la eliminación de desperdicios dentro de la cadena de valor de un proceso. Dado esto, a continuación se enumeran recomendaciones de mejoras provenientes del análisis actual del aserradero y alineadas con lo anteriormente mencionado:

1. Dentro de promover una integración entre las áreas, se plantea la reformulación de check-list con puntos de control en conjunto con Aserradero (Operadores de cada una de las máquinas facilitan información de la operación rutinaria y la experiencia de trabajo), Control Procesos (Facilita información con respecto a la calidad de la materia prima con respecto a la operación de las máquinas) y Mantención (Maneja información técnica de los activos y sus mantenciones), creando un **Equipo de Utilización Eficiente de Activos**. El objetivo de esto, es que los operadores por un lado tengan parámetros técnicos avalados por el área de Mantención y Control Procesos para determinar si la maquinaria la cual operan se encuentra en óptimas condiciones, de esta manera hará que la identificación de fallas sea de manera más rápida y evitará la producción de producto final defectuoso sin conocimiento de aquello. Esto también funcionará como guía para Mantención al momento de hacer las mantenciones preventivas, ya que entregará luces de los posibles fallos a ocurrir.

2. Enmarcado en maximizar la eficiencia operacional, se propone incluir tuberías de aire entre las cadenas de rodillos helicoidales para evitar acumulación de desechos de madera entre estos y que estas se corten. Idealmente estas tuberías podrían ser accionadas por el operador del twin a intervalos de tiempos que se estimen sean los óptimos y capacitarlos para identificar dicho punto. El objetivo de esto es evitar la alta frecuencia de detención de las líneas de producción, ayudando a la fluida operación de manera de alcanzar las metas productivas.

3. Incorporación de ratios de asistencia y ratios de variación de producto en indicadores de producción. Además, realizar análisis de experiencia y forma de trabajo a operadores mediante pruebas para determinar planes de capacitación y mejoras de participativa e inclusiva a través de la confección de un manual. Fijar programas de trabajo dentro del mes para que los operadores tengan instancia de práctica en cada puesto a reemplazar. Establecer los esquemas de trabajos en los que se realice mayor rotación de personal y establecer en términos de capacidad la óptima disposición dentro de la línea de producción. Finalmente incluir la variación de producción en la bonificación de los trabajadores para de esta manera concientizar a los operadores a trabajar en función de alcanzar la producción planificada en los programas de trabajo.

4. Modificación de la mesa de caída de piezas posterior a la salida de las múltiples previo al despuntador principal, en lo posible fabricando un alargue de esta con deflectores abatibles acorde a los largos de rollizo con que se trabaja en aserradero con el objetivo de disminuir el pandeo de estas evitando el quiebre de las piezas.

5. Establecimiento de estándares de abastecimiento por parte de Aserradero El Cruce para con Forestal Arauco, llevando un control detallado por diámetro y de la confiabilidad del abastecimiento en términos de cumplimiento. Por otro lado y dado las diversas variables que influyen en el proceso de corte de rollizos, se propone utilizar el modelo de gestión con información real de volumen total presente en planta y la distribución real de abastecimiento, para obtener un volumen aproximado de producción por altura de corte y según diámetro. Seguido, mediante una planilla que permita ingresar una escuadría por la zona central e indique todas las posibles escuadrías realizadas por aserradero, con el rendimiento simulado del esquema de corte y el volumen de producción.

6. Cambio de escáner del descortezador por uno que tenga tecnología que permita por un lado relacionar las imágenes obtenidas por este con el programa de simulación de esquemas de corte y por otro discriminar de forma efectiva los defectos de los rollizos, como en otras plantas de Paneles Arauco S.A. .

7. Reformulación del flujo de información en el proceso de abastecimiento a través de la estandarización por SOP, incluyendo a operadores de twin, operadores móvil de cancha de descortezado, operadores de descortezado, supervisor de patio y supervisores de aserradero. Esta propuesta busca disminuir errores humanos (técnicos e inadvertidos) y violaciones (error consciente) que afectan en el rendimiento del aserradero al utilizar rollizos de diferente diámetro.

6.2. Jerarquización

El primer criterio para la jerarquización de las propuestas de mejora será el costo de oportunidad correspondiente a ellas. Dado esto, se muestran los puntos de análisis en los cuáles fue posible cuantificar su costo de oportunidad:

	Costo de Oportunidad
O[20]. Variación de producción en programas de trabajo	9.243,40 [USD/mes]
A. Diferencia de rollizos en cancha sin corteza	7.935,68 [USD/mes]
B. Compra de rollizos con doble curvatura como grado 1	3.591,00 [USD/mes]
C. Desviación en distribución diámetrica en abastecimiento de rollizos	3.480,00 [USD/mes]
D. Cambio unitario del Factor de Uso en la meta	1.741,62 [USD/mes]
E. Cambio unitario del Ritmo en la meta	970,37 [USD/mes]
F. Piezas quebradas en caída de salida de múltiples	475,00 [USD/mes]
G. Diferencia de desempeño entre turnos	373,35 [USD/mes]
H. No utilización de cinta de retorno despuntador 2	193,94 [USD/mes]

Luego, se asociarán cada una de las propuestas anteriormente mencionadas al costo de oportunidad al cuál intentan mitigar, generando la siguiente matriz:

Tabla 6.1: Matriz de correlaciones de propuestas con puntos de análisis.

Propuesta	Punto de análisis	Costo de Oportunidad
3	O,D,E,G,H	12.522,68 [USD/mes]
7	A	7.935,68 [USD/mes]
6	B	3.591,00 [USD/mes]
5	C	3.480,00 [USD/mes]
4	F	475,00 [USD/mes]
1		
2		

Fuente: Elaboración Propia.

[20]Este costo de oportunidad se dejó aparte pues sólo se consideraron 3 programas, por lo que para tener un cálculo exacto se deben considerar todos los programas dentro de un mes. No obstante, la dificultad de este cálculo radica en la modificación diaria de las cantidades a producir. Sin embargo se sabe que el costo de oportunidad por variación en la producción es alto para la planta.

Como en el análisis anterior no se cuenta con una escala de medición para todas las propuestas, pues no es posible cuantificar monetariamente el costo de oportunidad. Es por esto que además de la jerarquización anterior, se utilizará los criterios de priorización de Ideas de Excelencia Operacional de Arauco, con el objetivo de que cada una de estas puedan ser priorizadas y en caso de no poseer un dato exacto asignarle un valor por los mismos jefes de área.

Así Arauco (2015) plantea un modelo de 2 variables cualitativas discretas:

- Facilidad de implementación.
  1. Infactible: Propuesta puede vulnerar la integridad de las personas, medio ambiente, del proceso y/ que no sea factible.
  2. Ejecución Simple: Tiempo de ejecución estimado menor o igual a 2 meses e inversión menor o igual a 3.000 [USD].
  3. Ejecución Compleja: Tiempo de ejecución estimado mayor a 2 meses y/o inversión mayor a 3.000 [USD]
- Impacto. Puede medirse en términos del índice de gestión de procesos (IGP) o en términos de VAN (tasas utilizadas por Arauco: anual 10 %, mensual 0,83 %).
  - Bajo: Disminución menor a 0,3 puntos el IGP o VAN menor a 10.000 [USD].
  - Medio: Dismución entre 0,3 a 0,8 puntos el IGP o VAN entre 10.000 y 30.000 [USD].
  - Alto: Disminución por sobre los 0,8 puntos el IGP o VAN mayor a 30.000 [USD].

Siguiendo el siguiente patrón de priorización:

- Prioridad 1. Ejecución Simple, Impacto Alto.
- Prioridad 2. Ejecución Simple, Impacto Medio.
- Prioridad 3. Ejecución Compleja, Impacto Alto.
- Prioridad 4. Ejecución Compleja, Impacto Medio.
- Prioridad 5. Ejecución Simple, Impacto Bajo.
- Prioridad 6. Ejecución Compleja, Impacto Bajo.

Así se tienen los siguientes resultados:

Tabla 6.2: Resultados priorización según criterios de Excelencia Operacional.

Prioridad	Propuesta
1	5,7
2	
3	3,6
4	1
5	2,4
6	

Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera y en forma conjunta de ambos criterios se tiene que las propuestas con mayor criticidad son: **propuesta 3, propuesta 5, propuesta 6 y propuesta 7**. En la siguiente sección se desarollarán con mayor precisión cada una de estas propuestas para el mejor entendimiento del lector.

6.3. Desarrollo de Propuestas

Propuesta 1. Relacionado dentro del mapa estratégico de Paneles Arauco S.A en desarrollar competencias y conservar conocimiento clave, también con personas comprometidas y motivadas y maximizar la eficiencia operacional, se propone la incorporación de ratios de asistencia y de desviación de producto en ratios de producción, con el objetivo de ir encontrando patrones en la asistencia y los indicadores de productividad y también mostrar la efectividad productiva del turno con respecto a los volúmenes esperados de producción.

Por un lado, además de ser útil como control de asistencia permitirá encontrar los programas y puestos de trabajo en los cuales se presenta mayor rotación de personal, identificando claramente a los reemplazantes recurrentes de los puestos. También se propone establecer días durante el mes con programas de trabajo ”livianos”, entiéndase como programas de fácil ejecutación, para que los operarios reemplazantes practiquen en sus ”nuevos” puestos de trabajo. Con todo lo anterior, se puede establecer que los programas con asistencia alta y bajo rendimiento pueden presentar problemas de capacidad en las líneas. De esta manera, mediante balance de personal estimar la cantidad y distribución óptima para que el aserradero no presente deficiencias por esta causal.

Figura 6.2: Propuesta indicador de asistencia por turno y desviación de producto.

ARAUCO
Aserradero El Cruce

Mes:	Mayo 2016
Turno:	2
Supervisor:	Leonardo Bustos

Resumen Diario:

Indicadores:	01-05-2016	02-05-2016	03-05-2016	04-05-2016	05-05-2016	06-05-2016	07-05-2016	08-05-2016
Rendimiento Sim. %	0,00%	41,02%	38,99%	42,60%	38,97%	40,55%	0,00%	0,00%
IR%	-	95%	98%	98%	93%	100%	-	-
IR% Sin Venta Nacional	-	95%	98%	98%	92%	97%	-	-
Horas	0,00	9,75	8,08	9,08	9,08	9,08	0,00	0,00
T.M. (Hrs.)	0,00	1,69	0,98	1,00	0,46	1,17	0,00	0,00
Diámetro Medio CMS	-	17,48	18,02	20,97	16,65	18,74	-	-
Trozos/Min Tpo Efectivo	-	9,74	9,40	10,51	10,98	10,28	-	-
Productividad m3/Hr	-	19,99	20,29	37,03	25,18	30,80	-	-
FU%	-	83%	88%	89%	95%	87%	-	-
FO%	-	58%	62%	93%	88%	94%	-	-
Asistencia %	-	85%	89%	93%	95%	93%		
Espesor	0,0	15,0	19,3	26,2	13,6	17,2	0,0	0,0
Ancho	0,0	92,5	88,9	95,8	91,8	82,3	0,0	0,0
Largo	0,0	2302,9	1214,6	3308,5	3232,4	3369,0	0,0	0,0
Escuadria Media	0x0x0	14x92x2302	19x88x1214	26x95x3308	13x91x3232	17x82x3368	0x0x0	0x0x0
Cross Cut m3 (Part %)	0 (0%)	91 (47%)	145 (88%)	80 (24%)	67 (29%)	61 (22%)	0 (0%)	0 (0%)
Desviación Cross Cut (%)	-	10%	15%	12%	20%	8%		
Board m3 (Part %)	0 (0%)	104 (53%)	19 (12%)	256 (76%)	162 (71%)	218 (78%)	0 (0%)	0 (0%)
Desviación Board (%)	-	-15%	-20%	-7%	-13%	-5%		

Resumen Mensual 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Fuente: Reporte Turno de Aserradero.

Por otro lado, junto la participación de supervisores, líderes, jefes de área de Mantención, Aserradero, Control Producción y Procesos y MASSO, inspector de calidad y control procesos, y cada uno de los operarios de los turnos crear y validar un **Manual de Reglas y Estándares para la Excelencia Operacional en el Proceso de Aserrado Planta El Cruce**. La idea de esto es que cada uno desde su punto de vista, entregue conocimientos, procedimientos, consideraciones y reglas para la correcta operación en cada uno de los puestos de trabajo, de esta manera se evita infrautilizar el potencial humano en planta como lo plantea entre sus desperdicios *Lean Manufacturing*. Una vez terminada la confección, realizar una capacitación a todos los operadores, certificando por un lado la adquisición del conocimiento de estos estándares, comprometiendo cumplir cada uno de ellos y dar la autoridad para realizar capacitaciones a los operadores de reemplazo con respecto a las labores a realizar.

Finalmente y como se ve en la figura 6.2, incluir la variación como factor de corregimiento del bono de producción actual. De forma más concreta es un promedio aritmético de la variación absoluta de todos los días trabajos del mes, en donde la variación diaria será un promedio ponderado del valor absoluto de la producción diaria de cross cut y board, esto reflejado en la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n}(|VCC_i| * x_i + |VB_i| * (1 - x_i))}{n} \tag{6.1}$$

En donde:

k: Factor de corregimiento.

$|VCC_i|$: Valor absoluto del porcentaje de variación de producción de cross cut del día i-esimo.

x_i: Porcentaje de cross cut del día i-esimo.

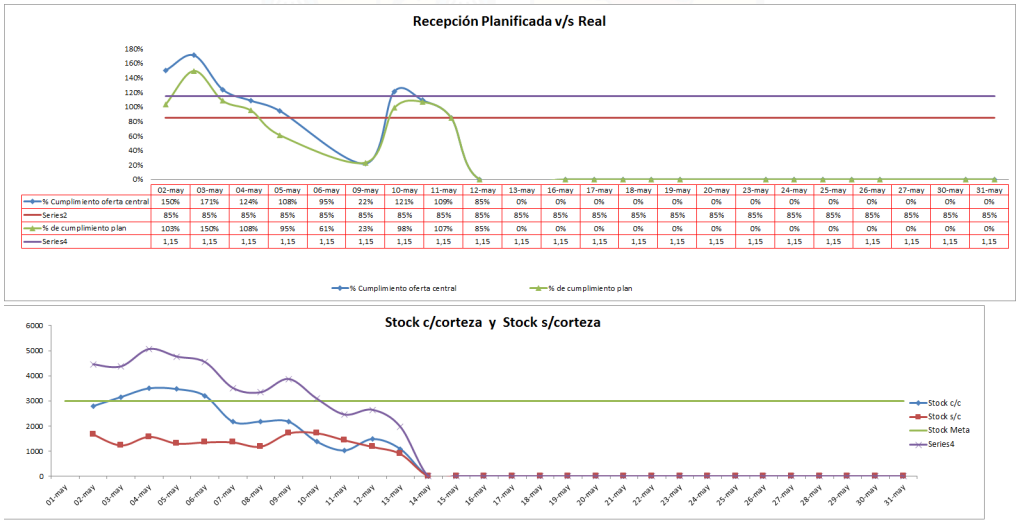
$|VB_i|$: Valor absoluto del porcentaje de variación de producción de board del día i-ésimo.

n: Número de días del mes trabajados.

Por lo que este factor k corrige al actual bono de producción de los trabajadores (bono el cual se adjudica sólo por cumplir los metros cúbicos proyectados para el mes) castigando la elaboración de volumen de producto no planificando provocando desperdicio para la planta. No obstante, se aconseja que este factor se comience a aplicar primero una vez ejecutada otras propuestas y a las nuevas contrataciones realizada por la planta. Esto busca conseguir el auto-control de los trabajadores y que ellos mismos sean entes reguladores en otras variables del proceso.

Propuesta 2. Enmarcado dentro de la optimización del abastecimiento y el aseguramiento de una planificación efectiva. Se propone incluir dentro los actuales gráficos de la carta gantt de rollizos, gráficos del abastecimiento por diámetro y largo (como los gráficos 5.26, 5.27, 5.28, 5.29 y 5.30) con el objetivo de que Planificación lleve un control detallado de cada uno de estos y de la desviación con respecto a la distribución planificada (como gráfico 5.32) envés de sólo los actuales gráficos donde se controlan los volúmenes totales.

Figura 6.3: Gráficos actuales de carta gantt de rollizos.



	02-may	03-may	04-may	05-may	06-may	09-may	10-may	11-may	12-may	13-may	16-may	17-may	18-may	19-may	20-may	23-may	24-may	25-may	26-may	27-may	30-may	31-may
% Cumplimiento oferta central	150%	171%	124%	108%	95%	22%	121%	109%	85%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Series2	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
% de cumplimiento plan	103%	150%	108%	95%	61%	23%	98%	107%	85%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Series4	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Fuente: Control Stock de Rollizos Planificación Aserradero El Cruce.

Esto permitirá a la Planta retro-alimentar a Forestal Arauco S.A. del abastecimiento realizado requiriendo ajustes futuros según el comportamiento de los metros cúbicos de los diámetros abastecidos.

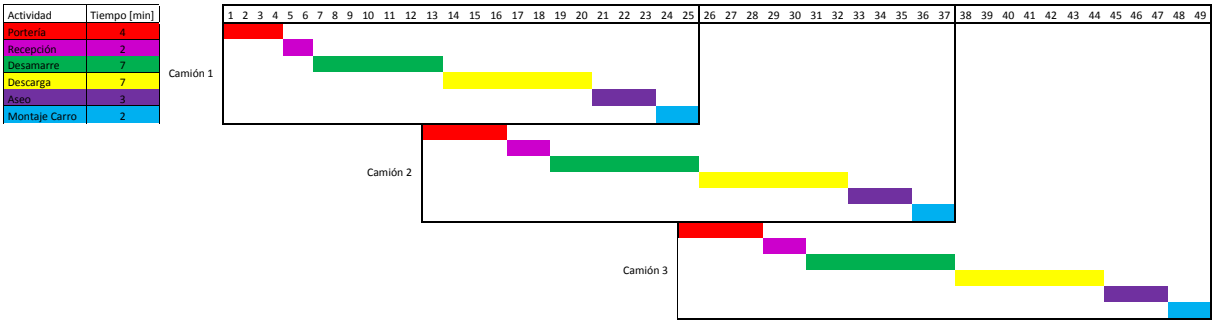
Desde otro lado, bajo la filosofía *Just in Time* se propone una desfase en la llegada de camiones de aproximadamente 12 [min] para que cada uno de los camiones pueda ser atendido dentro del tiempo determinado por Forestal Arauco y minimice los tiempos muertos asociado a la capacidad del móvil que descarga los camiones. Para esto, se propone requerir a Forestal Arauco el cambio del territorio para la medición de tiempo de espera de sus camiones, de manera que el tiempo efectivo de atención sea sólo el de atención y no el de espera. De lo anterior, se propone que sólo se haga ingreso a la cancha con corteza a 3 camiones por hora, por lo que un aumento de envío de camiones hará que estos deban esperar y así Forestal deba asumir el costo por tiempo de espera.

Figura 6.4: Zona para contabilización de tiempo de atención.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6.5: Análisis 3 camiones con desfase de 12 [min].



Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de variación de la distribución diámetrica planificada debidamente justificada e informada a AASA, se propone utilizar el modelo de gestión de la planta con la distribución real de compra presente en el aserradero y el volumen total de stock sin corteza. Con lo anterior y como ya se encuentran cargadas las escuadrías del plan de producción mensual, al correr el modelo de gestión se obtienen los esquemas de corte para cumplir con las escuadrías solicitadas con el stock actual en planta. Luego, con estos esquemas de corte y el Sistema de Integración de Planificación Planta es posible obtener la escuadría y armado de piezas centrales. Finalmente con una planilla que optimice el área transversal del rollizo, es posible obtener diversas opciones por los laterales tanto con escuadrías ya fabricadas por el aserradero, como por escuadrías propuestas en función del área disponible por los laterales y que pueden ser pedidas a la central de Arauco (AASA).

Figura 6.6: Ejemplificación de introducción de distribución real y volumen en cancha sin corteza.

						Plan abastecimiento		3,3					
	Regular			Volumen	Precio			800					
ID	Clasificación	3,3	%	m³/Roll	US$/m³	Total	Stock	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
233014	14	0	6,00%	0,06468	34		0	48,00	0	0	0	0	0
233016	16	0	14,74%	0,08448	38		0	117,89	0	0	0	0	0
233017	16	0	20,26%	0,08448	38		0	162,11	0	0	0	0	0
233018	18	0	18,13%	0,10692	41		0	145,07	0	0	0	0	0
233019	18	0	15,87%	0,10692	41		0	126,93	0	0	0	0	0
233020	20	0	8,73%	0,132	45		0	69,82	0	0	0	0	0
233021	20	0	7,27%	0,132	45		0	58,18	0	0	0	0	0
233022	22	0	9,00%	0,15972	53		0	72,00	0	0	0	0	0
	Total general												
						Plan abastecimiento		3,6					
	Regular			Volumen	Precio								
ID	Clasificación	3,6	%	m³/Roll	US$/m³	Total	Stock	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
236014	14	0	6,00%	0,07056	39		0	0	0	0	0	0	0
236016	16	0	8,00%	0,09216	43		0	0	0	0	0	0	0
236017	16	0	11,00%	0,09216	43		0	0	0	0	0	0	0
236018	18	0	15,00%	0,11664	46		0	0	0	0	0	0	0
236019	18	0	14,00%	0,11664	46		0	0	0	0	0	0	0
236020	20	0	20,00%	0,144	50		0	0	0	0	0	0	0
236021	20	0	17,00%	0,144	50		0	0	0	0	0	0	0
236022	22	0	9,00%	0,17424	53		0	0	0	0	0	0	0
	Total general												
						Plan abastecimiento		4					
	Regular			Volumen	Precio			700					
ID	Clasificación	4	%	m³/Roll	US$/m³	Total	Stock	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
240014	14	0	8,00%	0,0784	34		0	56,00	0	0	0	0	0
240016	16	0	16,00%	0,1024	38		0	112,00	0	0	0	0	0
240017	16	0	22,00%	0,1024	38		0	154,00	0	0	0	0	0
240018	18	0	17,60%	0,1296	41		0	123,20	0	0	0	0	0
240019	18	0	15,40%	0,1296	41		0	107,80	0	0	0	0	0
240020	20	0	7,64%	0,16	45		0	53,45	0	0	0	0	0
240021	20	0	6,36%	0,16	45		0	44,55	0	0	0	0	0
240022	22	0	7,00%	0,1936	53		0	49,00	0	0	0	0	0
	Total general												

Fuente: Modelo de Gestión Planificación Aserradero El Cruce.

Figura 6.7: Obtención de programas de trabajo.

					PERIODO_1			9,968604365	0,818062445	40,04%
Origen del e	Diámetro de	Largo del Ro	ibasa en mn	Volumen po	N° Rollizos	Consumo m	Horas Aserri	Productivida	F.O. ROLL	Rendimiento Esqu
1500129 A19	19	3300	100	0,10692	275,1307199	29,41697657	0,51471564	10,83600361	0,822150505	40,05%
1500198 A19	19	3300	100	0,10692	209,9631352	22,44925842	0,392799865	10,83600361	0,822150505	37,15%
1500265 A19	19	3300	120	0,10692	1115,286195	119,2464	2,086481831	10,83600361	0,822150505	43,49%
1500281 A19	19	3300	100	0,10692	11386,15276	1217,407453	21,30125968	10,83600361	0,822150505	43,72%
1500403 A16	16	3300	88	0,08448	13055,49251	1102,928007	22,11840897	11,94366525	0,823664793	37,53%
1500415 A14	14	3300	78	0,06468	931,9902952	60,2811323	1,514896628	13,33333333	0,769021363	43,14%
1500437 A19	19	3300	80	0,10692	390,1957074	41,71972504	0,729979675	10,83600361	0,822150505	40,90%
1500551 A16	16	3300	83	0,08448	141,0002376	11,91170007	0,238880373	11,94366525	0,823664793	38,21%
1500628 A19	19	3300	120	0,10692	5800,398742	620,1786335	10,85140894	10,83600361	0,822150505	41,14%
1500694 A16	16	3300	100	0,08448	27253,11605	2302,343244	46,17179829	11,94366525	0,823664793	45,89%
1500698 A18	18	3300	100	0,10692	38815,10367	4150,110884	75,50000119	10,83600361	0,790739439	43,79%
1500733 A19	19	3300	100	0,10692	3559,539923	380,5860086	6,659201384	10,83600361	0,822150505	40,79%
1500766 A20	20	3300	100	0,132	15976,0283	2108,835736	31,06842767	9,424387415	0,909379512	44,51%
1500841 A22	22	3300	100	0,15972	9224,94169	1473,407687	24,13556196	7,78874993	0,81787551	42,04%
1500856 A19	19	3300	100	0,10692	3849,656807	411,6053058	7,2019532	10,83600361	0,822150505	45,33%
1500924 A16	16	3300	83	0,08448	471,3699313	39,82133179	0,798587484	11,94366525	0,823664793	42,65%
1500930 A19	19	3300	120	0,10692	1027,799219	109,8922925	1,922810849	10,83600361	0,822150505	40,20%
1500935 A18	18	3300	88	0,10692	1790,767485	191,4688595	3,483256116	10,83600361	0,790739439	38,91%
1500955 A18	18	3300	88	0,10692	1793,430504	191,7535895	3,488436006	10,83600361	0,790739439	40,74%
1501000 A22	22	3300	88	0,15972	254,3908911	40,63131313	0,665572458	7,78874993	0,81787551	38,94%
1501079 A21	21	3300	96	0,132	13774,10468	1818,181818	27,75293594	9,424387415	0,877708017	45,50%
1501126 B20	20	4000	100	0,16	2642,757137	422,841142	7,275641164	7,890184812	0,767268832	44,16%
1501167 A22	22	3300	96	0,15972	4607,819936	735,9610001	12,05561263	7,78874993	0,81787551	44,48%
1501236 B21	21	4000	88	0,16	350,5475095	56,08760152	0,963338395	7,890184812	0,768651696	44,24%
1501263 A14	14	3300	78	0,06468	221,0352018	14,29655685	0,359280009	13,33333333	0,769021363	44,51%

Fuente: Modelo de Gestión Planificación Aserradero El Cruce.

Figura 6.8: Información de escuadría central según programa de trabajo.

Folio	Escuadría Centr	Patrón	Item	Largo	Trozos	Consumo	Central	Lateral	Semilat	Total	R% Real	R% Plan.	IR%	Mercado
1500129	13x100x3330	A19	1	3300	940	100,5	34,68	5,79	0	40,47	0,4026	0,4226	0,9527	JAP
1500198	13x100x3330	A19	1	3300	1693	181,02	57,03	10,47	0	67,5	0,3729	0,4398	0,848	JAP
1500265	13x120x1100	A19	1	3300	425	45,44	15,79	1,79	0	17,58	0,3868	0,4277	0,9044	JAP

Fuente: Sistema de Integración de Planificación Planta.

Figura 6.9: Obtención de laterales.

Rollizo Largo (mts)	3,3
Diametro (cms)	19

CENTRAL			
E	A	L	Rend% Central
13	100	3330	36,4%
9,0	Pzas Armado Central		

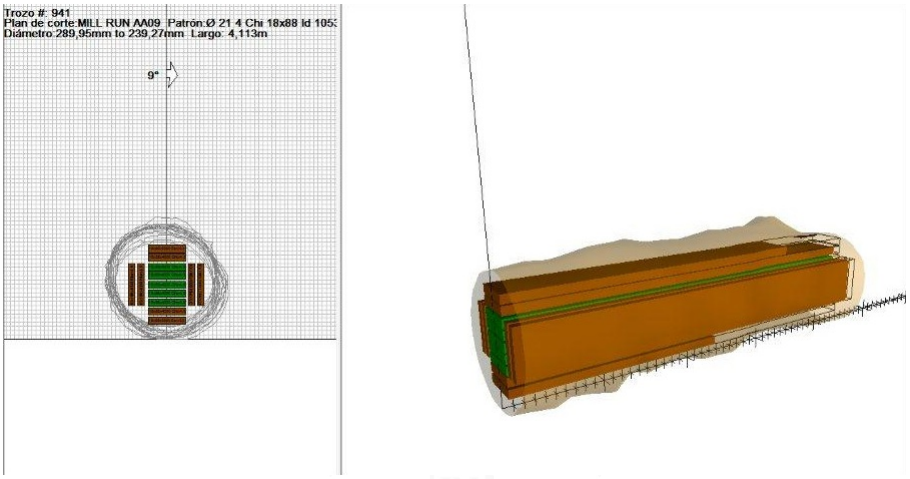
	Carga Alternativas para 1 Pza						Carga Alternativas para 2 Pzas						
Astilla mm.	E	A	L	Rend% Lat. 1 PZA	Rend% Total Esq.	Pzas Armado	E	A	L	Rend% Lat. 2 PZ	Rend% Total Esq	Pzas Armad	Astilla mm.
15	22	96	1300	5,1%	41,6%	1,0	13	88	1101	4,7%	41,2%	1,8	6
15	22	100	1100	4,5%	41,0%	0,9	11	58	3050	7,3%	43,7%	3,2	10
15	22	100	1000	4,1%	40,6%	0,9	12	65	3050	8,9%	45,3%	2,6	8
15	22	95	3000	11,7%	48,2%	1,0	14	78	2999	12,3%	48,7%	1,9	4
15	22	100	3350	13,8%	50,2%	0,9	13	78	3000	11,4%	47,8%	2,0	6
15	22	95	4000	0,0%	0,0%	1,0	11	83	3000	10,2%	46,7%	2,2	10
15	22	88	3000	10,9%	47,3%	1,1	11	80	3300	10,9%	47,3%	2,3	10
15	22	96	3000	11,9%	48,3%	1,0	13	80	3300	12,8%	49,3%	2,0	6
15	22	88	3960	0,0%	0,0%	1,1	13	83	3350	13,5%	50,0%	1,9	6
15	22	96	3960	0,0%	0,0%	1,0	13	83	3300	13,3%	49,8%	1,9	6
15	22	100	2000	8,2%	44,7%	0,9	12	73	4000	0,0%	0,0%	2,3	8
14	23	78	2400	8,1%	44,5%	1,1	13	68	1020	3,4%	39,8%	2,3	6
14	23	80	2400	8,3%	44,7%	1,1	13	68	1100	3,6%	40,1%	2,3	6
14	23	88	2400	9,1%	45,5%	1,0	13	78	2400	9,1%	45,5%	2,0	6
14	23	78	4000	0,0%	0,0%	1,1	13	88	1100	4,7%	41,1%	1,8	6
14	23	80	4000	0,0%	0,0%	1,1	13	88	2400	10,3%	46,7%	1,8	6
14	23	88	4000	0,0%	0,0%	1,0	13	75	3300	12,0%	48,5%	2,1	6
14	23	100	4000	0,0%	0,0%	0,9	13	85	3300	13,6%	50,1%	1,8	6
14	23	83	950	3,4%	39,8%	1,1	12	80	4000	0,0%	0,0%	2,1	8
14	23	83	1080	3,9%	40,3%	1,1	13	83	3700	0,0%	0,0%	1,9	6
14	23	78	3000	10,1%	46,5%	1,1	13	68	1000	3,3%	39,7%	2,3	6
14	23	83	3000	10,7%	47,2%	1,1	12	68	1085	3,3%	39,8%	2,5	8
14	23	83	3020	10,8%	47,2%	1,1	13	68	1085	3,6%	40,0%	2,3	6
14	23	78	4000	0,0%	0,0%	1,1	12	83	1200	4,5%	40,9%	2,0	8
14	23	83	4000	0,0%	0,0%	1,1	13	83	724	2,9%	39,4%	1,9	6
14	23	84	4000	0,0%	0,0%	1,1	13	85	2400	9,9%	46,4%	1,8	6

EX UMBRA SOLEM

Fuente: Elaboración Propia.

Propuesta 3. Cambio del escáner de descortezado cambiando el actual con tecnología de sombra por uno de escaneo en 3D y compatible con el software de optimización de patrones de corte MicroStep Production Management ®(MPM). El problema del primero es que un rollizo al presentar doble curvatura no es detectada, pues al completar la figura se anula. La ventaja del segundo es que al ser en 3D analiza en toda sus dimensiones al rollizo y ser compatible con MPM, permite que la programación de esquemas sea con imágenes de los rollizos reales en planta y estas sean recambiadas a través del tiempo. No se maneja información con mayor detalle al respecto, pero se contempla la realización de un ante-proyecto y la correspondiente base técnica para el año 2017 con el levantamiento realizado por el análisis de confiabilidad de suministro.

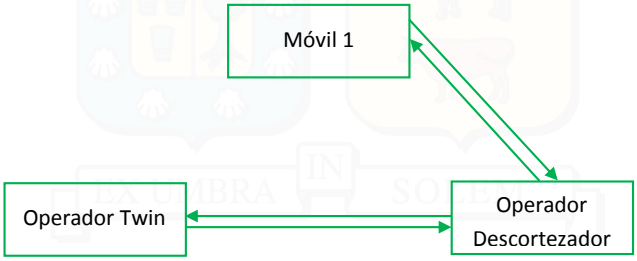
Figura 6.10: Imagen en 3D de rollizo y escuadrías en la programación.



Fuente: MicroStep Production Management ®.

Propuesta 4. Finalmente se propone un cambio en el flujo de comunicación del área de descortezado con el objetivo de minimizar la diferencia de volúmenes en cancha de rollizos sin corteza. Para esto se presenta un nuevo diagrama de comunicación:

Figura 6.11: Propuesta flujo de comunicación área descortezado.



Fuente: Elaboración Propia.

Con lo anterior se pretende llevar un control de la cancha pues la comunicación principal se realiza entre operador de twin y operador de descortezado, en donde el primero conoce los requerimientos de producción y el segundo conoce la materia prima disponible para la producción. De esta manera se deja al móvil 1 sólo como facilitador de la materia prima física entre las áreas. Además se requiere que el móvil mantenga constante comunicación con el operador de descortezador para dar cuenta de las calles de consumo y donde se encuentra apilando la nueva materia prima.

Para esto se plantea seguir la herramienta de *Lean Manufacturing*: 5'S.

- Seiri (Clasificar): En primer lugar la cancha de materia prima sin corteza posee 43 calles de acopio, de las cuales 34 cumplen con los requisitos de seguridad declarados por mantención debido al tendido eléctrico y por seguridad de la empresa prestadora de servicios, y por lo tanto 9 calles que no.
- Seiton (Ordenar): De las 34 calles disponibles se re-ubican 6 para la facilidad de acceso a ellas por parte del operador del móvil 1.

- Seiso (Limpieza): Se propone eliminar las 9 calles de acopio que no cumplen con los requerimientos correspondientes y establecer a media jornada y al final de esta un lapso de tiempo de 10 [min] para la eliminación de trozos quebrados en la cancha.

- Seiketsu (Estandarización): Para esta etapa, en primer lugar se realizaron entrevistas a los operadores de descortezador, twin y móvil 1 para comentar las debilidades o mejoras que esperan dentro del nuevo sistema de gestión de la cancha.

  De esto se obtuvo que una de las manera de control es la creación de una planilla que al iniciar el turno le muestre al móvil 1 los volúmenes, número de trozos, diámetro, largo, calidad de las calles utilizadas y las que se consumirán dentro del transcurso del turno. Esta planilla además contendrá los resúmenes y deberá entregarse al supervisor de patio y a las áreas que requieran la información. Junto con esto, se establece que cualquier consumo deberá requerirlo el operador del twin a el operador del descortezador por lo que cualquier modificación deberá quedar registrado e identificado por parte del operador de descortezado.

  A continuación se presenta la planilla confeccionada:

Figura 6.12: Planilla stock en cancha de descortezado.

CANCHA DE ROLLIZOS SIN CORTEZA ASERRADERO EL CRUCE

Fecha: 04-ago

Turno: T2

Buzón	Ø [cm]
1	14
2	21
3	16
4	22
5	18
6	RECHAZO
7	19
8	20



CALLES SEGÚN DIÁMETRO

Ø [cm]	3,30 Sirex	3,30 Regular	3,60 Sirex	3,60 Regular	4,00 Sirex	4,00 Regular
14						
16					26	19
18					21 22	
19					12 13	
20						8
21		1				
22					2	

Ø [cm]	Perchas	Volumen [m³]
14-16		0,00
18 -19		0,00
20 -21 -22	3	24,60
SUBTOTAL		24,6 [m3]

RECHAZO 3,00	3,30	3,60	Perchas	Volumen [m³]
				0,00
				0,00
				0,00
				0 [m3]

TOTAL RECHAZO CANCHA S/CORTEZA 24,6 [m3]

Con sumo	Calle	Ø [cm]	Largo [m]	Calidad	Trozos	Volumen [m³]
	1	21	3,3	Regular	245	32,34
	2	22	4	Sirex	800	154,88
	3	20 -21 -22	3	Rechazo	205	24,60
	4					
	5					
	6					
	7					
	8	20	4	Regular	245	39,20
	9					
	10					
	11					
	12	19	4	Sirex	800	103,68
	13	19	4	Sirex	1.100	142,56
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19	14	4	Regular y Sirex	58	4,55
	20					
	21	18	4	Sirex	580	75,17
	22	18	4	Sirex	1.400	181,44
	23					
	24					
	25					
	26	16	4	Sirex	1.570	160,77
	27					
	28					
	30					
	31					
	32					
	33					
	34					
	35					

3,30 [m]			3,60 [m]			4,0 [m]	
SIREX [m³]	REGULAR [m³]	Largo	SIREX [m³]	REGULAR [m³]		SIREX [m³]	REGULAR [m³]
0,00		Ø [cm]	0,00			4,55	
0,00	0,00	14	0,00	0,00		160,77	0,00
0,00	0,00	16	0,00	0,00		256,61	0,00
0,00	0,00	18	0,00	0,00		246,24	0,00
0,00	0,00	19	0,00	0,00		0,00	39,20
0,00	0,00	20	0,00	0,00		0,00	0,00
0,00	0,00	21	0,00	0,00		0,00	0,00
0,00	0,00	22	0,00	0,00		154,88	0,00

SUBTOTAL SIREX	0 [m3]	823,04 [m3]
SUBTOTAL REGULAR	32,34 [m3]	39,2 [m3]
SUBTOTAL S/CORTEZA	32,34 [m3]	862,24 [m3]
TOTAL CANCHA SIREX	823,04 [m3]	
TOTAL CANCHA REGULAR	71,54 [m3]	
TOTAL CANCHA S/CORTEZA	894,58 [m3]	

Fuente: Elaboración Propia.

La planilla (6.12), muestra la siguiente información:

Figura 6.13: Detalle de calles de acopio.

Consumo	Calle	Ø [cm]	Largo [m]	Calidad	Trozos	Volumen [m³]	Consumo estimado [m³]	Saldo estimado [m³]
	1	21	3,3	Regular	245	32,34		32,34
	2	22	4	Sirex	800	154,88		154,88
X	3	20 -21 -22	3	Rechazo	205	24,60		24,60
	4							
	5							
	6							
	7							
	8	20	4	Regular	245	39,20		39,20
	9							
	10							
	11							
	12	19	4	Sirex	800	103,68		103,68
	13	19	4	Sirex	1.100	142,56		142,56
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19	14	4	Regular y Sirex	58	4,55		4,55
	20							
	21	18	4	Sirex	580	75,17		75,17
	22	18	4	Sirex	1.400	181,44		181,44
	23							
	24							
	25							
	26	16	4	Sirex	1.570	160,77		160,77
	27							
	28							
	30							
	31							
	32							

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen volumétrico utilizado por Planificación:

Figura 6.14: Resumen volumétrico según diámetro, largo y calidad.

Largo	3,30 [m]		3,60 [m]		4,0 [m]	
Ø [cm]	SIREX [m³]	REGULAR [m³]	SIREX [m³]	REGULAR [m³]	SIREX [m³]	REGULAR [m³]
14	0,00		0,00		4,55	
16	0,00	0,00	0,00	0,00	160,77	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	256,61	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	246,24	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,20
21	0,00	32,34	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	154,88	0,00
SUBTOTAL SIREX	0 [m3]		0 [m3]		823,04 [m3]	
SUBTOTAL REGULAR	32,34 [m3]		0 [m3]		39,2 [m3]	
SUBTOTAL S/CORTEZA	32,34 [m3]		0 [m3]		862,24 [m3]	
TOTAL CANCHA SIREX	823,04 [m3]					
TOTAL CANCHA REGULAR	71,54 [m3]					
TOTAL CANCHA S/CORTEZA	894,58 [m3]					

Fuente: Elaboración Propia.

Para facilidad de los móviles muestra las perchas que contienen rollizos dependiendo del diámetro, largo, calidad y las perchas y volumen de los rollizos presentes en canchas sólo de RECHAZO:

Figura 6.15: Resumen de calles y de calles de rechazo.

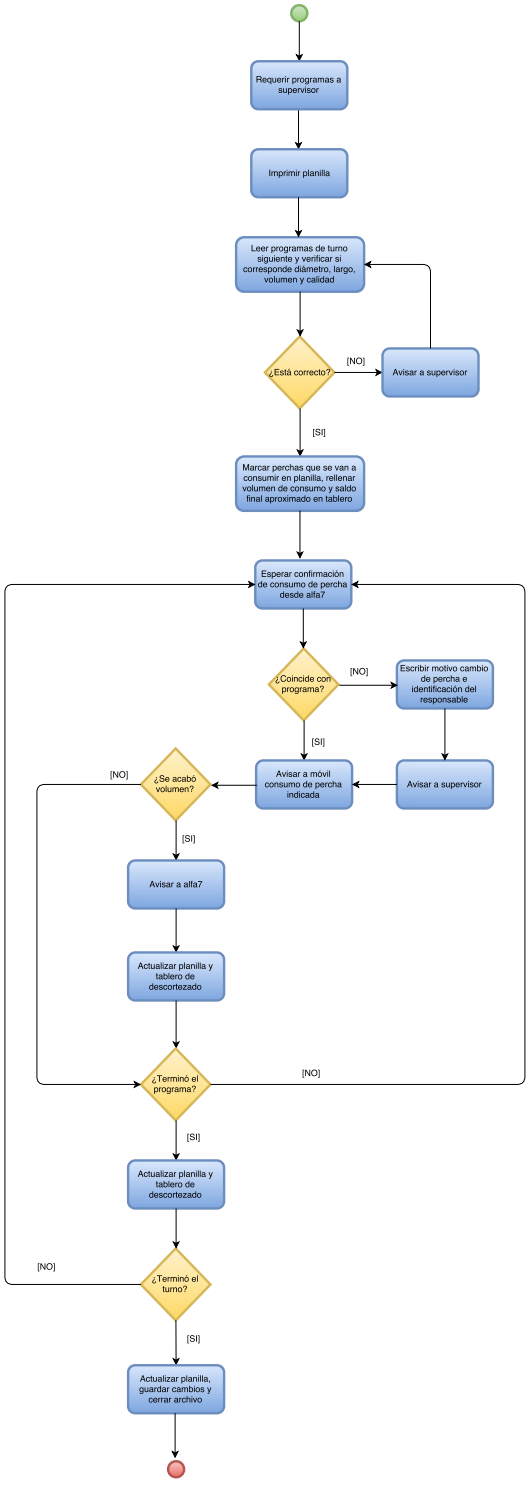
CALLES SEGÚN DIÁMETRO						
	3,30		3,60		4,00	
Ø [cm]	Sirex	Regular	Sirex	Regular	Sirex	Regular
14					19	
16					26	
18					21 22	
19					12 13	
20						8
21		1				
22					2	

RECHAZO						
	3,00		3,30		3,60	
Ø [cm]	Perchas	Volumen [m³]	Perchas	Volumen [m³]	Perchas	Volumen [m³]
14-16		0,00		0,00		0,00
18 -19		0,00		0,00		0,00
20 -21 -22	3	24,60		0,00		0,00
SUBTOTAL	24,6 [m3]		0 [m3]		0 [m3]	
TOTAL RECHAZO CANCHA S/CORTEZA			24,6 [m3]			

Fuente: Elaboración Propia.

Para estandarizar el proceso se realiza un SOP con el siguiente diagrama de flujo:

Figura 6.16: Diagrama de flujo para SOP cancha rollizos sin corteza.



Fuente: Elaboración Propia.

Todo lo anterior quedará explicado de forma intuitiva y detallada según las acciones que debe realizar cada uno de los operarios en un manual:

Figura 6.17: Manual para la gestión de cancha rollizos sin corteza.

ASERRADERO PLANTA EL CRUCE
PANELES ARAUCO

ARAUCO
Sembremos Futuro.

Manual para la gestión y control de inventario en cancha de rollizos sin corteza

Autores

Alejandro Hidalgo B.
Memorista Febrero - Julio 2016
alejandro.hidalgo.bernal@gmail.com

Valentina Ulloa O.
Encargada de Modelo de Gestión - Planificación
valentina.ulloa@arauco.cl

Fuente: Elaboración Propia.

Y una demarcación de cada una de las calles para evitar errores inconscientes del operador debido al alto número de calles, diámetros, largos y calidad:

Figura 6.18: Actual cancha de rollizos sin corteza.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6.19: Propuesta demarcación cancha de rollizos sin corteza.



Fuente: Elaboración Propia.

- Shitsuke (Disciplina): Finalmente y en primer lugar para esta ”S” se propone hacer un seguimiento riguroso, controlando el cumplimiento del SOP. Luego, se realiza una reunión con los operadores para obtener apreciaciones y saber si se deben realizar cambios. Posterior se sigue controlando de forma menos invasiva: visitas con menor frecuencia, llamados por radio, etc. Seguido se propone realizar una reunión para mostrar desempeño de ambos turnos, identificando a los operadores con mejor y menor compromiso. Una vez dominado el manual por parte de los operadores y ayudante de descortezado, se propone corregir el bono de producción según la desviación final del mes de la cancha de descortezado.

7 | Conclusión

Al estudiar el modelo de Confiabilidad Operacional, se entendió que para la correcta operación de una empresa se requiere que toda la organización tenga la capacidad de actuar de forma eficiente en función de la maximización del valor de esta basándose en cinco ejes: las personas, los suministros, el proceso como tal, los activos y su mantenibilidad.

Para el proceso de aserrado y particularmente para Aserradero Planta El Cruce, existe un alto número de variables que influyen en la obtención de producto final y el mayor aprovechamiento de la materia prima. Para este caso y como se evidenció a lo largo del trabajo de memoria estas variables son: una planta intensiva en la utilización de activos, con baja automatización, dependiente de la experiencia y ”buena fe” de sus operarios, alta variedad en su oferta de productos y en donde su principal suministro, rollizos de pino radiata, representa un factor determinante para la obtención de las piezas a producir quedando además a merced de factores incontrolables como lo es la naturaleza. Bajo este contexto, la Confiabilidad Operacional como herramienta de análisis permitió analizar el problema de la pérdida de rendimiento dejando de lado el paradigma presente en la planta que la obtención correcta de una pieza de madera depende sólo de la realización de un buen proceso y patrón de corte.

Dado lo anterior y luego de realizar el análisis es que se encontraron problemas en el activo crítico como lo es el Twin, que por cambio de sierras en mal estado se debe detener en total 131 [min] y por fallas de los rodillos helicoidales, los cuáles no tienen incidencia en el corte de madera, se deben detener ambas líneas de producción en total por aproximadamente 115 [min] durante 3 semanas, repercutiendo en el factor de uso del aserradero.

Dicho lo anterior es que la lógica dice que de haber un menor tiempo para producir se debe aumentar la velocidad de trabajo. No obstante mediante un análisis econométrico se ha demostrado que una disminución del factor de uso debe ser compensado por cerca el doble de ritmo para no incurrir en pérdidas de índice de rendimiento, lo que para cumplir con la meta del factor de operación

no es posible dada la relación inversa entre estas variables. En este contexto se desea rescatar la mayor cantidad de piezas posibles, sin embargo la monotonía en algunos casos hace que se pierdan piezas buenas de manera involuntaria o de manera consciente como la no utilización de cintas de retorno para el reproceso de piezas que permitan recuperar más de lo planificado.

Como un factor preponderante y de gran peso en las oportunidades encontradas se relaciona con el suministro, esto ya que por un lado el mal centrado es causado en parte por defectos del rollizo específicamente la doble curvatura la que representa el 5 % del abastecimiento mensual y del cual sólo el 15 % es rechazado, incurriendo en un costo de oportunidad de 3.591 [USD/mes] por concepto de compra mal clasificada. Además, el no cumplimiento del abastecimiento en términos volumétricos y por la disposición oportuna de la madera ocasiona problemas de mal aprovechamiento generando costo de oportunidad por 3.480 [USD/mes]. Adicionalmente la alimentación los rollizos no es de manera totalmente efectiva pues hay diferencias de inventario real de rollizos con el inventario teórico, ya sea por error inadvertido del operador del móvil dado el alto número de calles de acopio o de forma intencional para mejorar los índices de productividad. Esto genera un costo debido a la diferencia en cancha de 7.935 [USD/mes].

Ya identificado y cuantificado cada una de las oportunidades y haber analizado el mapa estratégico de Paneles Arauco, se concluye que las estrategias necesarias para el mejoramiento operacional del aserradero ya se encuentran establecidas corporativamente, no obstante en el plano particular de la planta no se encuentran los mecanismos necesarios alineados a estas estrategias estando en la situación de ”siempre se ha trabajado así”. También se establece como ventaja competitiva el conocimiento de los operadores del proceso y de los activos en el cual se desempeñan, dotándolos de capacidad de decisión. Sin embargo al no haber modelos de gestión y control establecidos provenientes de las jefaturas de áreas, se cae en malos hábitos realizados históricamente. Dado lo anterior es que se propusieron planes de acción tales como: incorporación de ratios de asistencia, corregimiento de los bonos de producción según la eficiencia operacional de los turnos, creación de un manual y estándares, establecimiento de gráficos de control de rollizo por diámetro, cambios en el territorio de medición de tiempo de servicio, aprovechamiento del modelo de gestión para la programación, cambio de escáner por tecnología 3D y la creación de un modelo de gestión de la cancha de rollizos sin corteza.

Finalmente, se debe dejar en claro que para el mejoramiento de una organización se debe incluir a toda esta, cada uno de las personas que trabajan deben saber que su conocimiento es importante para el mejoramiento continuo del aserradero y que la correcta operación en su puesto de trabajo

influye en el correcto desempeño de las otras áreas y estos en conjunto al correcto desempeño de la empresa. Es por esto que en cada una de las propuestas se estimula la participación de los trabajadores, considerando el punto de vista de todos de los involucrados, llegando a consensos, potenciando sus capacidades para que todos conozcan el adecuado funcionamiento y creando medidas que sirvan para el control de las decisiones y que esto genere un auto-control de ellos mismos.

Bibliografía

Arata, A. (2001). *Organización Liviana: Un modelo de excelencia empresarial*. Riles, Santiago, 1st edition. 3.2.2

Arata, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*. Riles, Santiago, 1st edition. 3.2.2, 3.2.3, 3.2.3

Arata, A. and Stegmaier, R. (1999). Apuntes de ingeniería de plantas industriales. 3.2.1

Arauco (2015). Manual de excelencia operacional 2.0. 3.2.5, 6.2

Arauco (2016). *Reporte de Sustentabilidad 2015*. Arauco, Av. El Golf 150, Piso 14, Las Condes, Santiago, Chile, 1st edition. 3.1.1, 3.1.2

Barberá, L., Crespo, A., Viveros, P., and Stegmaier, R. (2012). Advanced model for maintenance management in a continuous improvement cycle: integration into the business strategy. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, pages 47–63. 3.2.3, 3.2.3

Cornejo, E. and Díaz, D. (2006). Medidas de ganancia: Ebitda, ebit, utilidad neta y flujo de efectivo. *Revista Economía y Administración*. 1

Feld, W. (2002). *Lean Manufacturing: tools, techniques and how to use them*. CRC Press, New York, United States of America, illustrated edition. 3.2.4

Gujarati, D. (2004). *Econometría*. McGraw-Hill Interamericana, México, 4th edition. 7, 8, 9

Johns, E. (2014). Apuntes de asignatura gestión de calidad total. 3.2.3

Knights, P. (2004). Downtime priorities, jackknife diagrams, and the business cycle. *Maintenance Journal*, pages 14–21. 3.2.3

Ohno, T. (1991). *El sistema de producción Toyota: Más allá de la producción a gran escala*. Illustrated edition. 3.2.5

Pons, R., Bermúdez, Y., and Villa, E. (2013). El análisis de fiabilidad humana en la mejora de procesos. *Prospectiva*, pages 61 – 67. 3.2.3

Riffo, R. (2016). Informe de índice de gestión proceso. 3.1.3

Sebastián, M. (2009). Fallo humano: La quiebra de un paradigma. *Apuntes de Psicología*. 3.2.3

Sexto, L. (2008). Confiabilidad integral de un activo. *Ingenería Mecánica*, pages 49 – 56. 3.2.2

Valdivieso, C., Valdivieso, R., and Valdivieso, O. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. Technical report, Universidad Privada Boliviana. 3.2.3

Vilar, J. (2005). *Control Estadístico de los Procesos (SPC)*. FC Editorial, España, 1st edition. 3.2.3

A | Constantes Control Estadístico de Procesos

Tabla A.1: Constantes para gráficos de control.

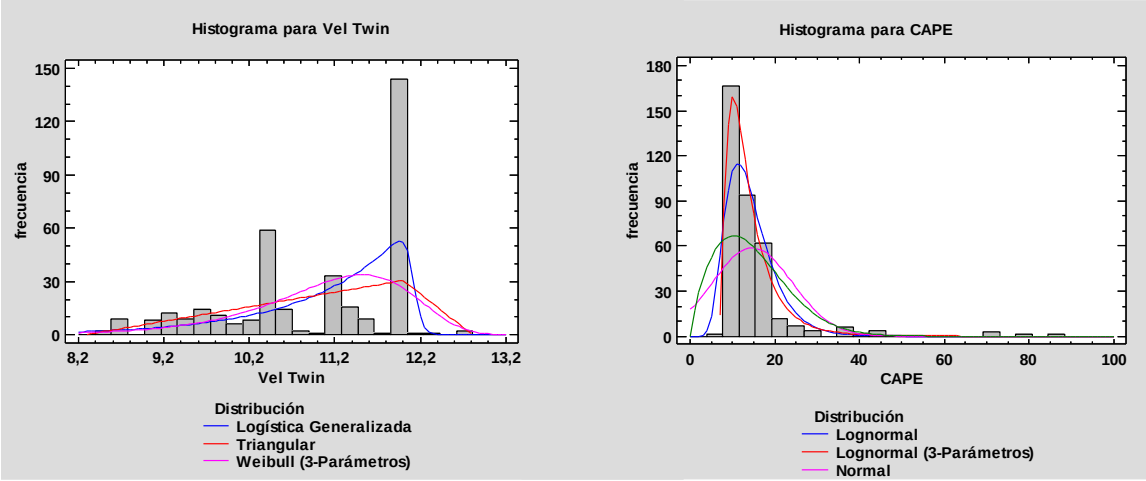
n	A2	d2	D3	D4
2	1,880	1,128	0,000	3,267
3	1,023	1,693	0,000	2,575
4	0,729	2,059	0,000	2,282
5	0,577	2,326	0,000	2,114
6	0,483	2,534	0,000	2,004
7	0,419	2,704	0,076	1,924
8	0,373	2,847	0,136	1,864
9	0,337	2,970	0,184	1,816
10	0,308	3,078	0,223	1,777
11	0,285	3,173	0,256	1,744
12	0,266	3,258	0,283	1,717
13	0,249	3,336	0,307	1,693
14	0,235	3,407	0,328	1,672
15	0,223	3,472	0,347	1,653
16	0,212	3,532	0,363	1,637
17	0,203	3,588	0,378	1,622
18	0,194	3,640	0,391	1,609
19	0,187	3,689	0,404	1,596
20	0,180	3,735	0,415	1,585
21	0,173	3,778	0,425	1,575
22	0,167	3,819	0,435	1,565
23	0,162	3,858	0,443	1,557
24	0,157	3,895	0,452	1,548
25	0,153	3,931	0,459	1,541

Fuente: Control Estadístico de los Procesos (SPC), José Vilar (2005).

B | Capacidad Activos

1. Supuestos y Consideraciones:
   - La capacidad de las maquinarias fue obtenida del modelo de Factor de Operación Dinámica.
   - Meses de evaluación fueron desde Diciembre de 2015 a Marzo 2016, obteniendo un total de 363 observaciones.
   - Solo se determinará la capacidad de los activos que influyen en la determinación de la capacidad productiva del aserradero.
2. Histogramas de capacidad por máquina:

Figura B.1: Histogramas capacidad twin y CAPE.



Fuente: Statgraphics Centurion XVII versión 17.1.12.

Como se aprecia en la figura anterior B.1, las distribuciones que se ajustan de mejor manera son la logística generalizada y lognormal de 3 parámetros. En la siguiente tabla se presentan información de cada una de las distribuciones y sus respectivos intervalos de confianza con significancia del 5 %:

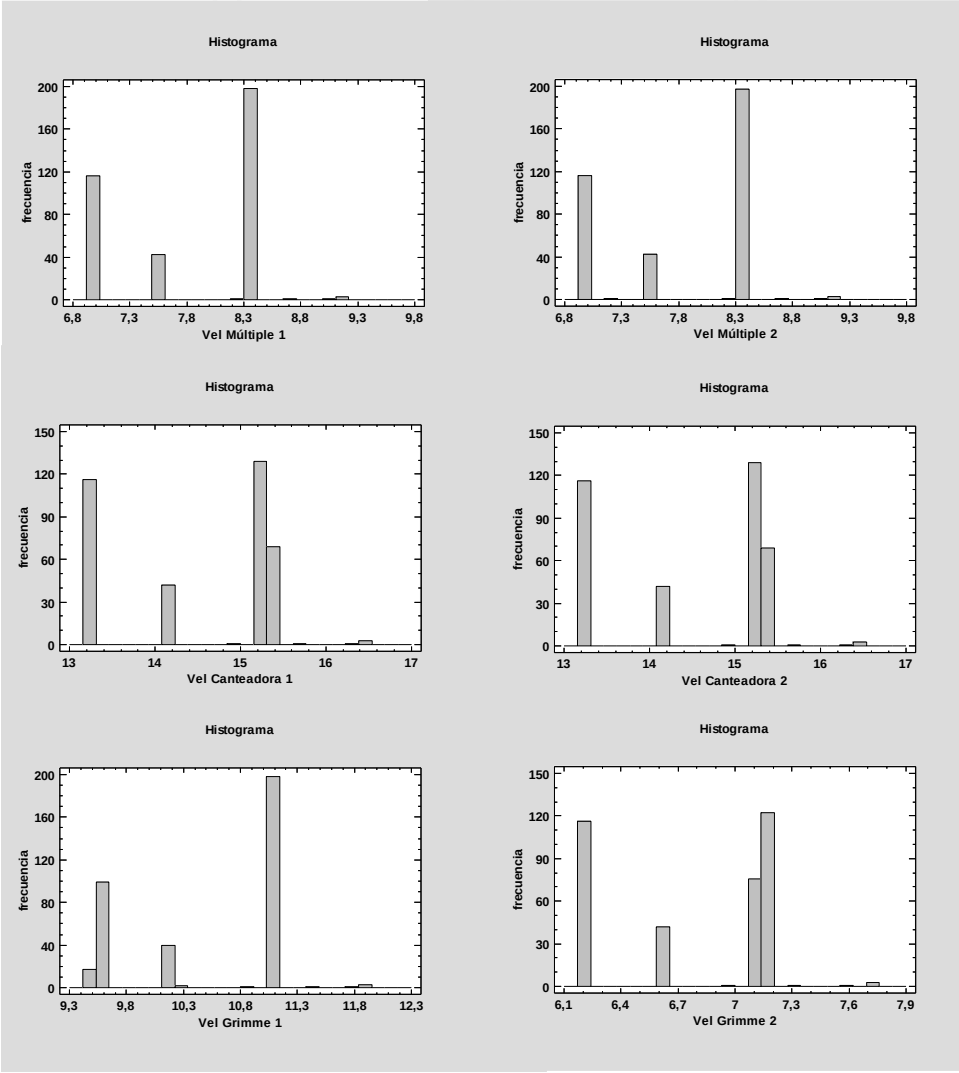
Tabla B.1: Parámetros e intervalos de confianza para capacidad twin y CAPE.

Capacidad Twin		Capacidad CAPE	
Dist. Logística Generalizada		Dist. LogNormal 3-Param.	
Localización	12,1183	Media	14,2481
Escala	0,0495	Desv. Std	6,2728
Forma	0,0455	Umbral Inf.	6,0996
IC(95 %)		IC(95 %)	
8,104	12,133	7,795	30,686

Fuente: Statgraphics Centurion XVII versión 17.1.12.

A continuación se presentan los histogramas para ambas múltiples, canteadoras y grimmes:

Figura B.2: Histogramas capacidad múltiples, canteadoras y grimmes.



Fuente: Statgraphics Centurion XVII versión 17.1.12.

Al observar la figura B.2, se concluye que las capacidades no varían significativamente concentrándose en 3 o 4 clases según el activo. Dado esto es que se establece que la capacidad de las maquinarias se determinará con un promedio ponderado de la frecuencia con que cada una de las capacidades que tienen mayor repitencia a lo largo del tiempo, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla B.2: Capacidad múltiples, canteadoras y grimmes.

Capacidad Múltiple 1		Capacidad Múltiple 2		Capacidad Canteadora 1		Capacidad Canteadora 2		Capacidad Grimme 1		Capacidad Grimme 2	
[Trozos/min]	% Rel.	[Trozos/min]	% Rel.	[Trozos/min]	% Rel.	[Trozos/min]	% Rel.	[Trozos/min]	% Rel.	[Trozos/min]	% Rel.
7	32,58 %	7	32,58 %	13,2	32,58 %	13,2	32,58 %	9,5	4,80 %	6,2	32,58 %
7,6	11,80 %	7,6	11,80 %	14,2	11,80 %	14,2	11,80 %	9,6	27,97 %	6,6	11,80 %
8,4	55,62 %	8,4	55,62 %	15,3	55,62 %	15,3	55,62 %	10,2	11,30 %	7,1	21,35 %
7,849		**7,849**		**14,486**		**14,486**		11,1	55,93 %	7,2	34,27 %
								10,502		**6,782**	

Fuente: Elaboración Propia.

C | Detenciones por Máquina

Tabla C.1: Número y tiempo de detenciones por máquina.

Twin							
Tiempo Disponible: 14.466 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	53	461	25,54 %	Cambio Sierras	31	294	55,26 %
Otros	47	339	44,32 %	Falla eléctrica mecánica	20	238	100,00 %
Cambio Sierras	31	294	60,61 %				
Falla eléctrica mecánica	20	238	73,80 %				
Atoche en línea	21	153	82,27 %				
Atoche Astillador	11	129	89,42 %				
Atoche Twin	19	110	95,51 %				
Ducto Múltiple	8	67	99,22 %				
Ducto Canteadora	2	14	100,00 %				
Total	212	1805		Total	51	532	
TMED [min]		68,24		MTBF [min]		283,65	
TMVO [min]		8,51		MTTR [min]		10,43	
Factor de Uso		87,52 %		Disponibilidad		96,45 %	

CAPE							
Tiempo Disponible: 12.384 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	30	173	44,13 %	Falla eléctrica mecánica	10	119	100,00 %
Falla eléctrica mecánica	10	119	74,49 %				
Falta de Madera	2	59	89,54 %				
Atoche	3	41	100,00 %				
Total	45	392		Total	10	119	
TMED [min]		275,2		MTBF [min]		1238,4	
TMVO [min]		8,71		MTTR [min]		11,9	
Factor de Uso		96,83 %		Disponibilidad		99,05 %	

Múltiple 1							
Tiempo Disponible: 14.462 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	53	378	37,65 %	Falla eléctrica mecánica	12	132	33,08 %
Falla eléctrica mecánica	12	132	50,80 %	Cambio de Sierras	13	117	62,41 %
Cambio de Sierras	13	117	62,45 %	Ocasionado por Twin	11	106	88,97 %
Atoche	12	117	74,10 %	Rayado Sierra	5	44	100,00 %
Ocasionado por Twin	11	106	84,66 %				
Ducto Aserrín	23	94	94,02 %				
Rayado Sierra	5	44	98,41 %				
Falta Semibasa	1	10	99,40 %				
Falla Semibasa	1	6	100,00 %				
Atoche Despuntador	0	0	100,00 %				
Total	131	1004		Total	41	399	
TMED [min]		110,4		MTBF [min]		352,73	
TMVO [min]		7,66		MTTR [min]		9,73	
Factor de Uso		93,06 %		Disponibilidad		97,32 %	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.2: Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Continuación)*

Múltiple 2							
Tiempo Disponible: 12.823 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	46	318	45,95 %	Falla eléctrica mecánica	2	155	58,71 %
Falla eléctrica mecánica	2	155	68,35 %	Ducto Aserrín	24	97	95,45 %
Ducto Aserrín	24	97	82,37 %	Rayado Sierra	2	12	100,00 %
Ocasionado por Twin	5	44	88,73 %	Cambio de Sierras	0	0	100,00 %
Astillador	4	39	94,36 %				
Falla Semibasa	3	16	96,68 %				
Rayado Sierra	2	12	98,41 %				
Atoche Despuntador	3	11	100,00 %				
Atoche	0	0	100,00 %				
Cambio de Sierras	0	0	100,00 %				
Total	89	692		Total	28	264	
TMED [min]		144,08		MTBF [min]		457,96	
TMVO [min]		7,78		MTTR [min]		9,43	
Factor de Uso		94,60 %		Disponibilidad		97,98 %	

Canteadora 1							
Tiempo Disponible: 13.907 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Falla eléctrica mecánica	8	373	32,38 %	Falla eléctrica mecánica	8	373	89,66 %
Cambio de Programa	30	228	52,17 %	Cambio de Sierras	3	33	97,60 %
Ocasionado por Grimme	23	198	69,36 %	Ducto Aserrín	2	10	100,00 %
Ocasionado por Twin	17	194	86,20 %				
Atoche	12	116	96,27 %				
Cambio de Sierras	3	33	99,13 %				
Ducto Aserrín	2	10	100,00 %				
Falta Lampazos	0	0	100,00 %				
Total	95	1152		Total	13	416	
TMED [min]		146,39		MTBF [min]		1069,77	
TMVO [min]		12,13		MTTR [min]		32	
Factor de Uso		91,72 %		Disponibilidad		97,10 %	

Canteadora 2							
Tiempo Disponible: 12.909 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	27	196	24,97 %	Falla eléctrica mecánica	11	148	61,16 %
Falla eléctrica mecánica	11	148	43,82 %	Cambio de Sierras	6	94	100,00 %
Ocasionado por Twin	12	146	62,42 %	Ducto Aserrín	0	0	100,00 %
Cambio de Sierras	6	94	74,39 %				
Ocasionado por Grimme	12	90	85,86 %				
Falta Lampazos	7	80	96,05 %				
Atoche	3	31	100,00 %				
Ducto Aserrín	0	0	100,00 %				
Total	78	785		Total	17	242	
TMED [min]		165,5		MTBF [min]		759,35	
TMVO [min]		10,06		MTTR [min]		14,24	
Factor de Uso		93,92 %		Disponibilidad		98,16 %	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.3: Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Continuación)*

Grimme 1							
Tiempo Disponible: 12.818 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	51	230	45,36 %	Ducto Aserrín	11	48	31,37 %
Ocasionado por Twin	5	88	62,72 %	Falla eléctrica mecánica	5	46	61,44 %
Ducto Aserrín	11	48	72,19 %	Rayado Sierra	9	35	84,31 %
Falla eléctrica mecánica	5	46	81,26 %	Cambio de Sierras	6	24	100,00 %
Rayado Sierra	9	35	88,17 %				
Cambio de Sierras	6	24	92,90 %				
Atoche por pieza quebrada	5	12	95,27 %				
Ocasionado por Canteadora	3	12	97,63 %				
Atoche	3	12	100,00 %				
Total	98	507		Total	31	153	
TMED [min]		130,8		MTBF [min]		413,48	
TMVO [min]		5,17		MTTR [min]		4,94	
Factor de Uso		96,04 %		Disponibilidad		98,82 %	

Grimme 2							
Tiempo Disponible: 13.978 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	52	280	54,05 %	Falla eléctrica mecánica	5	46	44,66 %
Ocasionado por Twin	4	83	70,08 %	Cambio de Sierras	8	42	85,44 %
Atoche	14	52	80,12 %	Rayado Sierra	2	10	95,15 %
Falla eléctrica mecánica	5	46	89,00 %	Ducto Aserrín	2	5	100,00 %
Cambio de Sierras	8	42	97,10 %				
Rayado Sierra	2	10	99,03 %				
Ducto Aserrín	2	5	100,00 %				
Ocasionado por Canteadora	0	0	100,00 %				
Atoche por pieza quebrada	0	0	100,00 %				
Total	87	518		Total	17	103	
TMED [min]		160,67		MTBF [min]		822,24	
TMVO [min]		5,95		MTTR [min]		6,06	
Factor de Uso		96,29 %		Disponibilidad		99,27 %	

Despuntador Principal							
Tiempo Disponible: 12.265 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	24	171	36,23 %	Falla eléctrica mecánica	3	32	100,00 %
Ocasionado por Twin	15	134	64,62 %				
Térmico/ Atoche/ Cinta Doble	13	96	84,96 %				
Falta de Madera	5	39	93,22 %				
Falla eléctrica mecánica	3	32	100,00 %				
Total	60	472		Total	3	32	
TMED [min]		204,42		MTBF [min]		4.088,33	
TMVO [min]		7,87		MTTR [min]		10,67	
Factor de Uso		96,15 %		Disponibilidad		99,74 %	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.4: Número y tiempo de detenciones por máquina. *(Final)*

Desputador 2							
Tiempo Disponible: 11.711 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	42	195	51,18 %	Falla eléctrica mecánica	1	2	100,00 %
Ocasionado por Twin	4	128	84,78 %				
Térmico/ Atoche/ Cinta Doble	8	56	99,48 %				
Falla eléctrica mecánica	1	2	100,00 %				
Falta de Madera	0	0	100,00 %				
Total	55	381		Total	1	2	
TMED [min]		212,93		MTBF [min]		11.711	
TMVO [min]		6,93		MTTR [min]		2	
Factor de Uso		96,75 %		Disponibilidad		99,98 %	

Trozador A							
Tiempo Disponible: 14.442 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	62	289	52,55 %	Atoche Cinta Rechazo	9	32	76,19 %
Atoche Trozador	32	139	77,82 %	Falla eléctrica mecánica	2	10	100,00 %
Ocasionado por Twin	1	80	92,36 %	Cambio Sierra	0	0	100,00 %
Atoche Cinta Rechazo	9	32	98,18 %				
Falla eléctrica mecánica	2	10	100,00 %				
Cambio Sierra	0	0	100,00 %				
Total	106	550		Total	11	42	
TMED [min]		136,25		MTBF [min]		1.312,91	
TMVO [min]		5,19		MTTR [min]		3,82	
Factor de Uso		96,19 %		Disponibilidad		99,71 %	

Trozador B							
Tiempo Disponible: 14.238 [min]	Factor de Uso				Disponibilidad		
	N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.		N° Detenciones	Tiempo Detenido [min]	Frec. Acum. Tpo. Det.
Cambio de Programa	41	273	42,92 %	Falla eléctrica mecánica	4	224	96,55 %
Falla eléctrica mecánica	4	224	78,14 %	Cambio Sierra	1	8	100,00 %
Ocasionado por Twin	1	85	91,51 %	Atoche Cinta Rechazo	0	0	100,00 %
Atoche Trozador	10	46	98,74 %				
Cambio Sierra	1	8	100,00 %				
Atoche Cinta Rechazo	0	0	100,00 %				
Total	57	636		Total	5	232	
TMED [min]		249,79		MTBF [min]		2.847,6	
TMVO [min]		11,16		MTTR [min]		46,4	
Factor de Uso		95,53 %		Disponibilidad		98,40%	

Fuente: Elaboración Propia.

D | Repercusión 3 por Máquina

Tabla D.1: Descripción de detenciones repercusión 3 por máquina.

Activo	Descripción	Frecuencia	Duración [min]
Twin	Falla rodillos helicoidales	31	114,6
	Rotura manguera hidráulica	1	7,8
	Cambio de sierra	5	131
	Térmico mesa de carguío	3	21
	Atasque rollizo en sierras	1	13,2
	Ajuste de centrado	1	7,2
	Sierra doble	1	53
Múltiple 1	Ducto de aserrín	5	36
	Cambio de sierra	1	9
Múltiple 2	Ducto de aserrín	2	20,4
	Cambio de sierra	2	9
Canteadora 1	Ducto de aserrín	1	7,2
	Cambio de sierra	1	6
	Corte de eje	1	7,8
Canteadora 2	Regulación presión cuchillos	1	7,2
	Ducto de aserrín	1	6,9
Grimme 1	Cambio de sierra	1	4,2
	Corte pasador rodillos de avance	1	7,8
	Térmico cinta de retorno	1	4,8
	Térmico mesa de salida	1	6
	Corte de correas	1	4,8
Grimme 2	Cambio de sierra	1	4,2
	Apriete rodillo de avance	1	7,8
	Térmico cinta de retorno	1	4,8
Despuntador Principal	Ajuste de medida	1	4,2
Trozador B	Regulación Presión Cilindro C/Fuga	1	4,8
	Regular Presión Cuchillos	1	4,8
Cape	Atravesamiento motor de sierras	1	10,2

Fuente: Elaboración Propia.

E | Análisis MRL IR %, FU y Ritmo

1. Supuestos y Consideraciones:
   - Durante el análisis se utilizará el software Minitab® versión 16.2.3.0.
   - Información obtenida de planillas de líderes de turno desde 01 Diciembre de 2015 hasta 31 de Marzo de 2016, correspondientes a 152 observaciones.
   - Índice de Rendimiento meta: 98 %.
   - Ritmo meta: 91 %.
   - Factor de Uso meta: 90 %.
2. Variable Endógena:

   DIR = Diferencia entre el índice de rendimiento sin venta nacional real de una jornada de operación y el índice de rendimiento meta para una jornada de operación.
3. Variables Exógenas:
   - $DRITMO$ = Diferencia entre ritmo real y ritmo meta de una jornada de operación.
   - DFU = Diferencia entre el factor de uso real y el factor de uso meta de un día de operación.
   - CC = % ”Cross Cut” o madera tipificada como ”corta” producida en una jornada laboral con respecto al total de la producción de la misma jornada.
   - $DT1D$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 1 en día.
   - $DT1N$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 1 en noche.
   - $DT2D$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 2 en día.
   - $DT2N$ = Dicotómica asociada a la operación del Turno 2 en noche.

4. Modelo:

$$DIR = b_1 * DFU + b_2 * DRITMO + b_3 * CC + b_4 * DT1D + b_5 * DT1N + b_6 * DT2D + b_7 * DT2N \quad \text{(E.1)}$$

Tabla E.1: Resumen del modelo.

Término	Coef	EE del coef.	T	P-value	IC 95 %	
DFU	0,168062	0,0804694	2,08852	0,038	(0,009018.	0,327107)
DRITMO	0,090936	0,0392772	2,31523	0,022	(0,013306.	0,168566)
CC	-0,001547	0,0133931	-0,11550	0,908	(0,028018.	0,024924)
DT1D	-0,056974	0,0089513	-6,36485	0,000	(-0,074665.	-0,039282)
DT1N	-0,061819	0,0088190	-7,00971	0,000	(-0,079249.	-0,044388)
DT2D	-0,092467	0,0094645	-9,76981	0,000	(-0,111173.	-0,073761)
DT2N	-0,086237	0,0107229	-8,04236	0,000	(-0,107431.	-0,065044)

S = 0,0378871 R-cuad. = 83,24 % R-cuad.(ajustado) = 82,43 %
PRESS = 0,228185 R-cuad.(pred.) = 81,63 %

Fuente: Minitab® 16.

5. Significancia de los betas estimados:

El modelo propuesto en E.1 describe un 82,43 % de la variabilidad del problema según el coeficiente de determinación ajustado. Por otro lado para observar la contundencia del modelo es necesario saber la significancia de las variables endógenas con respecto al modelo inicialmente propuesto. Para esto se supone un estadístico que se distribuye según la distribución de probabilidad t-student, así, para ver su significancia se puede utilizar dócima individual o, como en este caso, según el p-valor. En la tabla E.2, mediante el p-valor de los coeficientes se tiene que son menores a 0,05 todos exceptuando el de porcentaje de cross cut. Por lo que se concluye que no es significativo para el modelo a estudiar.

Tabla E.2: P-valor de los coeficientes del modelo.

Término	P-value
DFU	0,038
DRITMO	0,022
CC	0,908
DT1D	0,000
DT1N	0,000
DT2D	0,000
DT2N	0,000

Fuente: Minitab® 16.

A partir de los últimos puntos es que se trabajará sólo con el siguiente modelo dado la significancia de las variables obtenidas del modelo completo:

$$DIR = b_1 * DFU + b_2 * DRITMO + b_3 * DT1D + b_4 * DT1N + b_5 * DT2D + b_6 * DT2N \quad \text{(E.2)}$$

Tabla E.3: Resumen nuevo modelo.

Término	Coef	EE del coef.	T	P-value	IC de 95 %	
DFU	0,165903	0,078003	2,1269	0,035	(0,011742.	0,320064)
DRITMO	0,092436	0,0369422	2,5022	0,013	(0,019425.	0,165447)
DT1D	-0,057706	0,006292	-9,1714	0,000	(-0,070142.	-0,045271)
DT1N	-0,06252	0,0063756	-9,8062	0,000	(-0,075120.	-0,049920)
DT2D	-0,09327	0,0063943	-14,5865	0,000	(-0,105908.	-0,080633)
DT2N	-0,087195	0,006778	-12,8644	0,000	(-0,100591.	-0,073799)

S = 0,0377589 R-cuad. = 83,24 % R-cuad.(ajustado) = 82,55 %
PRESS = 0,225626 R-cuad.(pred.) = 81,83 %

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	6	1,03384	1,03384	0,172307	120,855	0,000000
Error	146	0,20816	0,20816	0,001426		
Total	152	1,24200				

Fuente: Minitab® 16.

6. Observaciones atípicas:

Mediante el mismo software se obtienen 5 observaciones atípicas, sin embargo se estima dejarlas en el modelo pues no son influyentes para el cálculo de este.

Tabla E.4: Observaciones atípicas.

Obs	DIR	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar	
22	-0,18	-0,105453	0,0067994	-0,0745473	-2,00711	R
38	0,02	-0,055858	0,0065165	0,0758577	2,03961	R
54	-0,02	-0,093997	0,0078776	0,0739967	2,00381	R
100	-0,18	-0,101036	0,0063596	-0,0789638	-2,12157	R
142	0,02	-0,056049	0,0073445	0,0760494	2,0533	R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Fuente: Minitab® 16.

7. Normalidad del Error:

   Dentro de los supuestos que detalla Gujarati (2004) es la normalidad del error del modelo de regresión. Para comprobar esto se utilizará el test de Jarque-Bera, donde:

   H_o : Error se distribuye normal.

   H_a : Error no se distribuye normal.

$$JB = n\left[\frac{A^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24}\right] \sim \chi^2_{(2,1-\alpha)} \tag{E.3}$$

   Donde:

   n : Número de observaciones.

   A : Coeficiente de simetría.

   K : Coeficiente de curtosis.

   α : Nivel de significancia.

   Para el actual caso y mediante el mismo software se tienen los siguientes datos:

   n : 152.

   A : -0,01.

   K : 3,75.

   α : 0,05.

   JB : 2,67.

   VT : 5,99.

   Como el estadístico es menor que el valor tabla, se concluye que el error se distribuye normal.

8. Multicolinealidad:

   Como explica Gujarati (2004), la multicolinealidad es la fuerte correlación entre variables explicativas de un modelo. Para esto hay diversas formas de detectar este fenómeno, en particular para este análisis se desarrolla mediante el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) y en donde este indicador al ser mayor o igual a 5 revelará la alta presencia de multicolinealidad y en el caso contrario, menor que 5 dejará de manifiesto la baja o nula existencia de multicolinealidad. En el modelo ya planteado y según la información entregada por el software se desprenden los siguientes resultados:

Tabla E.5: Factor de inflación de la varianza para cada variable.

Término	VIF
DFU	1,32595
DRITMO	1,14406
DT1D	1,08294
DT1N	1,05487
DT2D	1,08976
DT2N	1,22448

Fuente: Minitab® 16.

   Dado lo anterior es que se concluye que no hay presencia de multicolinealidad para ninguna de las variables.

9. Homocedasticidad:

   Uno de los supuestos de los modelos de regresión lineal especificado por Gujarati (2004) es el de varianza constante del error u homocedasticidad, para establecer si se cumple se utilizará la dócima de White mediante el modelo auxiliar que esta dócima propone:

$$e^2 \; vs \; DFU^2,\; DRITMO^2,\; DT1D^2, DT1N^2,\; DT2D^2,\; DT2N^2,\; DFU*DRITMO,\; DFU*DT1D,$$
$$DFU*DT1N,\; DFU*DT2N,\; DRITMO*DT1D,\; DRITMO*DT1N,\; DRITMO*DT2D,$$
$$DRITMO*DT2N,\; DT1D*DT1N,\; DT1D*DT2D,\; DT1D*DT2N,\; DT1N*DT2D,$$
$$DT1N*DT2N,\; DT2D*DT2N \tag{E.4}$$

   Con el modelo anterior se obtendrá el coeficiente de determinación R^2, que se utiliza para obtener el estadístico de la dócima de White en donde:

H_o : Homocedasticidad.

H_a : No Homocedasticidad.

$$E = n * R^2 \sim \chi^2_{(v-1,\alpha)} \tag{E.5}$$

Donde:

n : Número de observaciones.

R^2 : Coeficiente de determinación del modelo auxiliar.

χ^2 : Distribución Chi-cuadrado.

v : Número de variables exógenas del modelo auxiliar.

α : Nivel de significancia.

Para el actual caso y mediante el mismo software se tienen los siguientes datos:

n : 152.

R^2 : 0,059.

α : 0,050.

E : 8,968.

VT : 22,360.

Como el estadístico es menor que el valor tabla, se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad.

10. Modelo Final:

Luego de la verificación de los supuestos del modelo de regresión lineal, se determina que el modelo ajustado para el problema es:

$$DIR = 0,165903 * DFU + 0,092436 * DRITMO - 0,057706 * DT1D - 0,062520 * DT1N$$
$$-0,093270 * DT2D - 0,087195 * DT2N \tag{E.6}$$

11. Comparación de coeficientes:

Finalmente, se compararán los coeficiente para obtener conclusiones a partir de los resultados mediante el siguiente test de hipótesis:

$$H_o: \ a * \hat{\beta}_i = b * \hat{\beta}_j.$$

$$H_a: \ a * \hat{\beta}_i \neq b * \hat{\beta}_j.$$

$$E = \left| \frac{a * \hat{\beta}_i - b * \hat{\beta}_j}{\sqrt{Var(a * \hat{\beta}_i - b * \hat{\beta}_j)}} \right| \sim t_{(1-\frac{\alpha}{2}, n-k)} \tag{E.7}$$

Donde:

$\hat{\beta}$: Coeficiente estimado.

t : Distribución t-student.

n : Número de observaciones.

k : Número de variables exógenas.

α : Nivel de significancia.

a, b : Constantes arbitrarias.

$Var(a * \hat{\beta}_i - b * \hat{\beta}_j) : a^2 * Var(\hat{\beta}_i) \ + \ b^2 * Var(\hat{\beta}_j) \ - \ 2 * a * b * COV(\hat{\beta}_i; \hat{\beta}_j).$

Por otro lado, la matriz de varianzas y covarianzas queda determinado por la siguiente expresión:

$$S^2 (X^T X)^{-1}$$

Donde:

S^2 : Cuadrado medio del error.

X : Matriz de variables exógenas.

Para el actual caso y mediante el mismo software se obtiene la siguiente matriz:

Tabla E.6: Matriz de varianza y covarianza

0,006086	-0,000168	0,000050	0,000048	0,000138	0,000217
-0,000168	0,001365	0,000058	0,000047	-0,000021	0,000024
0,000050	0,000058	0,000040	0,000003	0,000000	0,000003
0,000048	0,000047	0,000003	0,000041	0,000000	0,000003
0,000138	-0,000021	0,000000	0,000000	0,000041	0,000005
0,000217	0,000024	0,000003	0,000003	0,000005	0,000046

Fuente: Minitab® 16.

- Comparación entre turnos en horario de noche:

$$H_o : \hat{\beta}_{DT1N} = \hat{\beta}_{DT2N}.$$
$$H_a : \hat{\beta}_{DT1N} \neq \hat{\beta}_{DT2N}.$$

$$E = \left| \frac{-0{,}062520 - -0{,}087195}{\sqrt{0{,}000080}} \right| \sim t_{(1-\frac{0{,}05}{2}, 152-6)}$$

$$E = 2{,}741487.$$
$$VT = 1{,}976346.$$

Se rechaza la hipótesis nula, por tanto se concluye que el coeficiente de la variable DT1N es distinto a DT2N.

- Comparación entre turnos en horario de día:

$$H_o : \hat{\beta}_{DT1D} = \hat{\beta}_{DT2D}.$$
$$H_a : \hat{\beta}_{DT1D} \neq \hat{\beta}_{DT2D}.$$

$$E = \left| \frac{-0{,}057706 - -0{,}093270}{\sqrt{0{,}000081}} \right| \sim t_{(1-\frac{0{,}05}{2}, 152-6)}$$

$$E = 3{,}951556.$$
$$VT = 1{,}976346.$$

Se rechaza la hipótesis nula, por tanto se concluye que el coeficiente de la variable DT1D es distinto a DT2D.

- Comparación del turno 1 entre día y noche:

$$H_o : \hat{\beta}_{DT1D} = \hat{\beta}_{DT1N}.$$
$$H_a : \hat{\beta}_{DT1D} \neq \hat{\beta}_{DT1N}.$$

$$E = \left| \frac{-0{,}057706 - -0{,}062520}{\sqrt{0{,}0000752}} \right| \sim t_{(1-\frac{0{,}05}{2}, 152-6)}$$

$$E = 0{,}555147.$$
$$VT = 1{,}976346.$$

No se rechaza la hipótesis nula, por tanto se concluye que el coeficiente del turno 1 de día es igual al coeficiente del turno 1 de noche.

- Comparación del turno 2 entre día y noche:

$$H_o : \hat{\beta}_{DT2D} = \hat{\beta}_{DT2N}.$$
$$H_a : \hat{\beta}_{DT2D} \neq \hat{\beta}_{DT2N}.$$

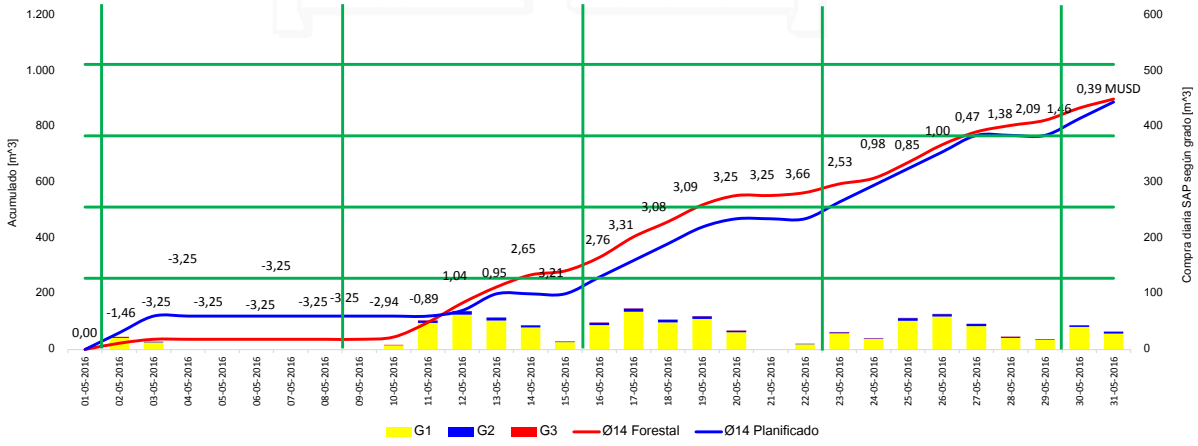
$$E = \left| \frac{-0{,}093270 - -0{,}087195}{\sqrt{0{,}000077}} \right| \sim t_{(1-\frac{0{,}05}{2}, 152-6)}$$

$$E = 0,688985.$$
$$VT = 1,976346.$$

No se rechaza la hipótesis nula, por tanto se concluye que el coeficiente del turno 2 de día es igual al coeficiente del turno 2 de noche.

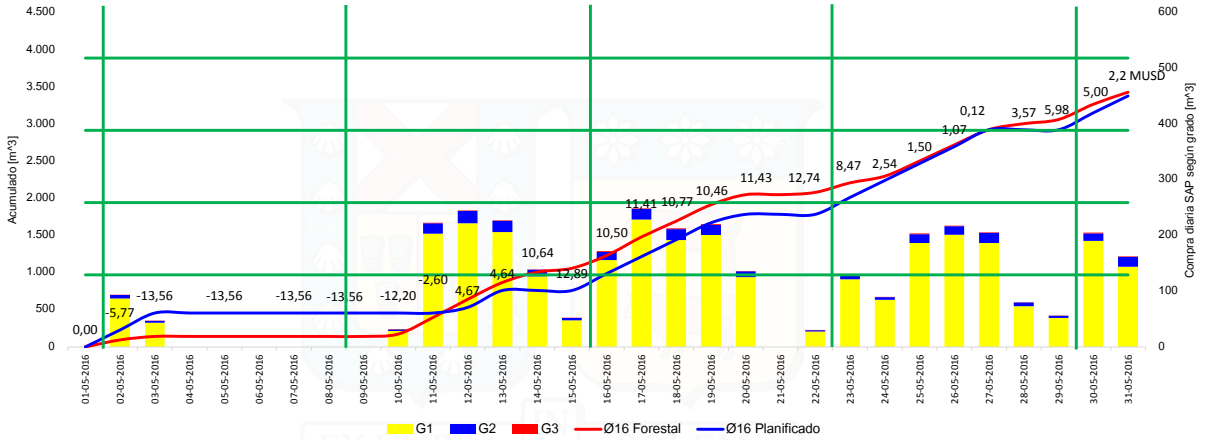
F | Abastecimiento Mayo 2016

Figura F.1: Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 3,40 [m] Mayo 2016.



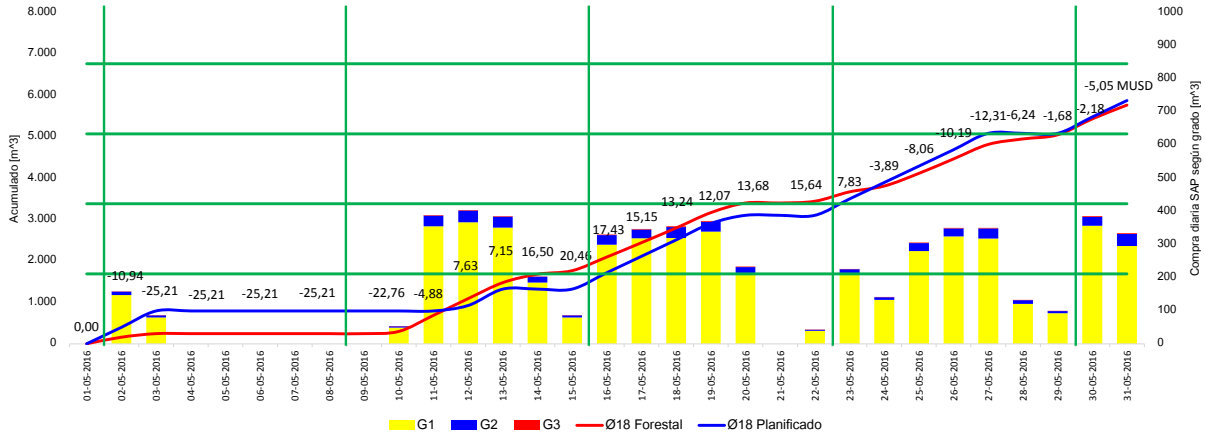
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.2: Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 3,40 [m] Mayo 2016.



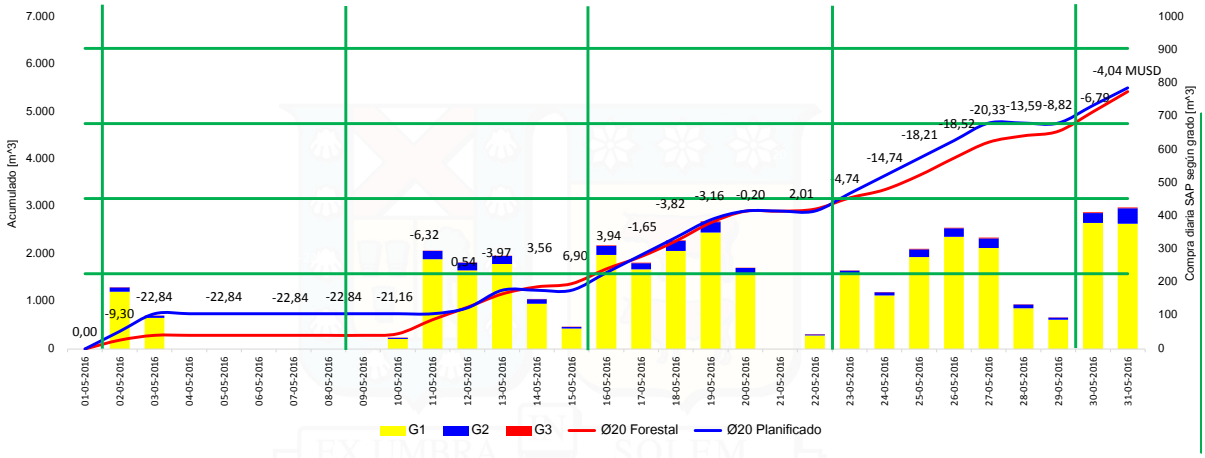
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.3: Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 3,40 [m] Mayo 2016.



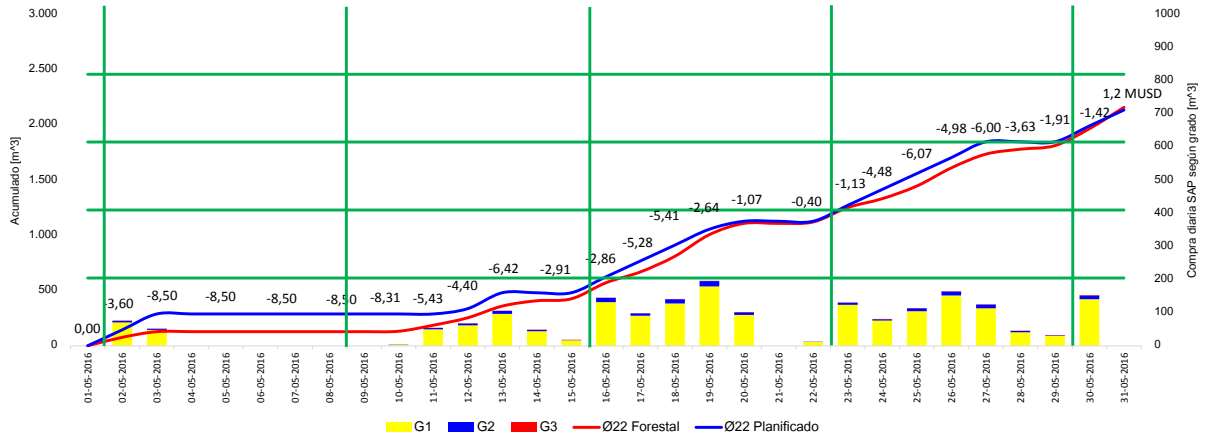
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.4: Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 3,40 [m] Mayo 2016.



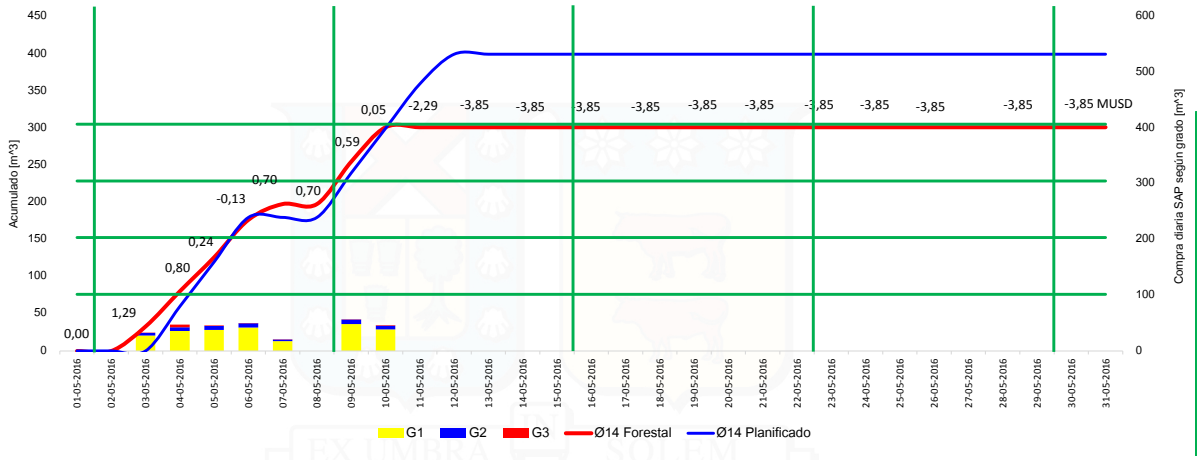
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.5: Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 3,40 [m] Mayo 2016.



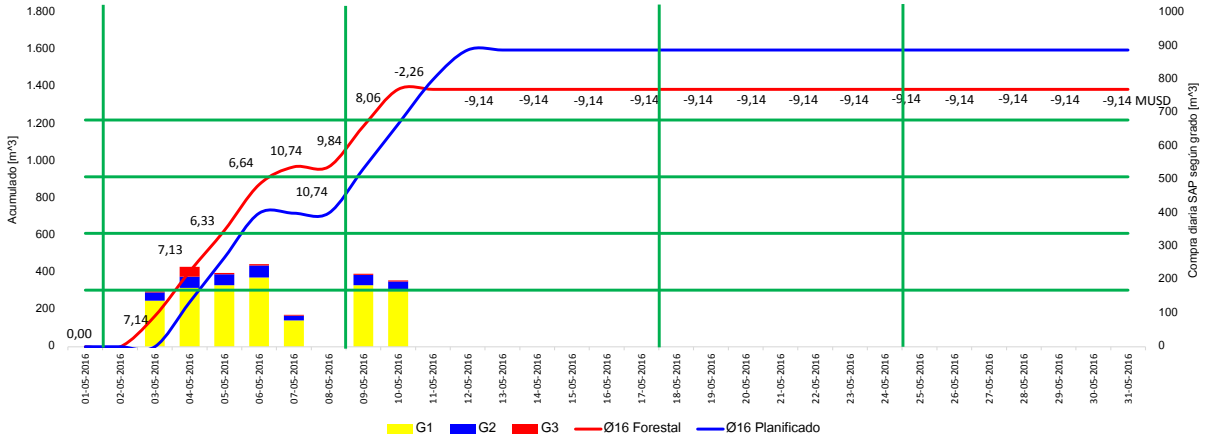
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.6: Acumulado mensual y compra por grado ϕ14 largo 4,10 [m] Mayo 2016.



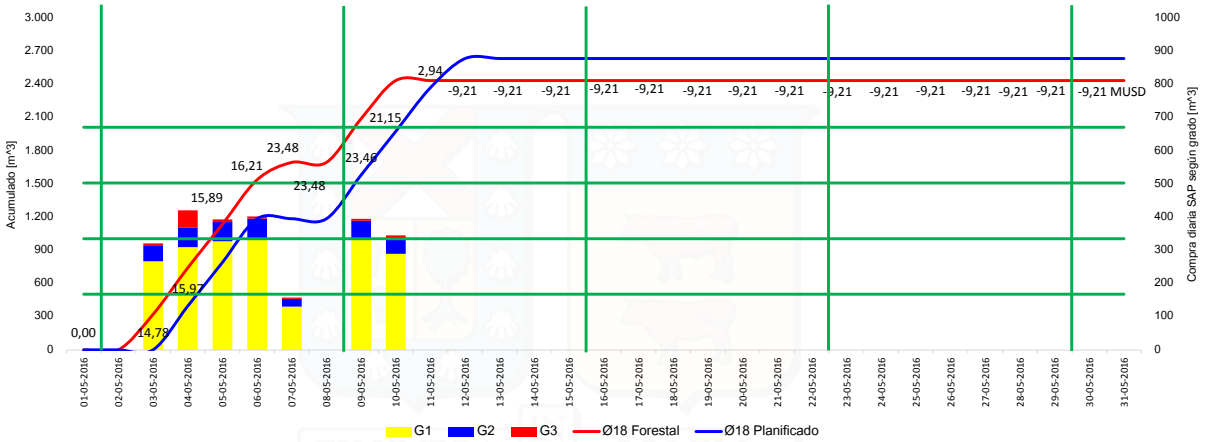
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.7: Acumulado mensual y compra por grado ϕ16 largo 4,10 [m] Mayo 2016.



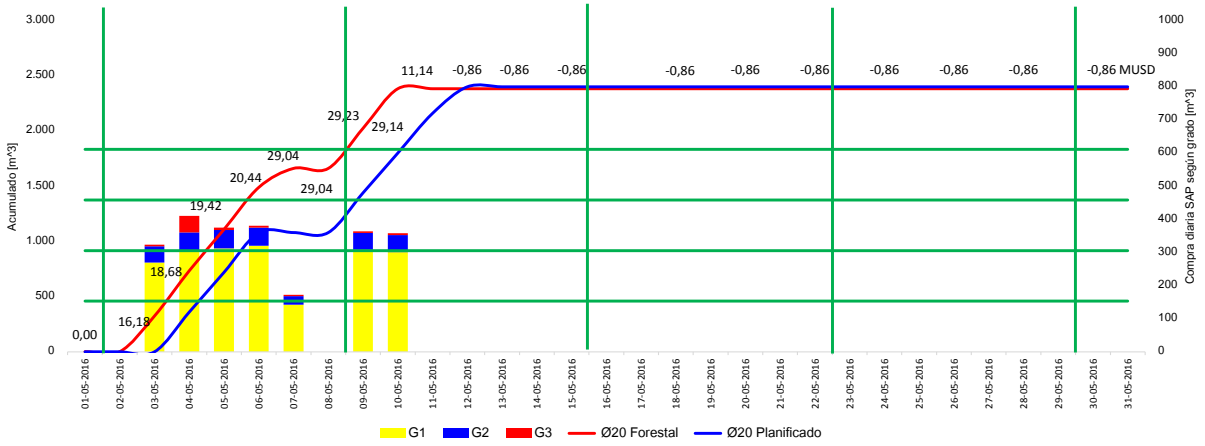
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.8: Acumulado mensual y compra por grado ϕ18 largo 4,10 [m] Mayo 2016.



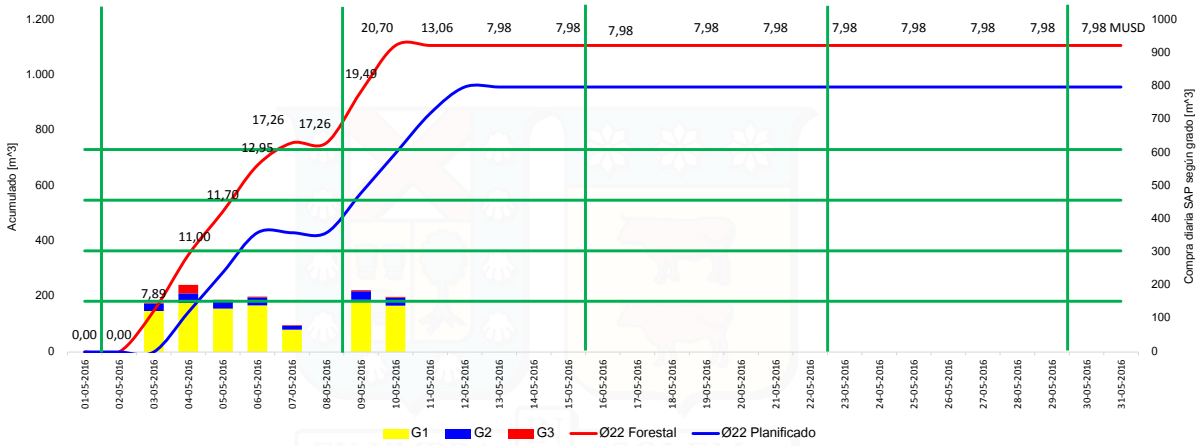
Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.9: Acumulado mensual y compra por grado ϕ20 largo 4,10 [m] Mayo 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura F.10: Acumulado mensual y compra por grado ϕ22 largo 4,10 [m] Mayo 2016.



Fuente: Elaboración Propia.