



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Evaluación técnico-económica de la implementación de grúas estacionarias en el sistema de alimentación de Aserradero El Colorado – Arauco

POR

Mingtsu Leonardo Chang Liu

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

Profesor Guía

Jorge Jiménez del Río

Agosto de 2024

Concepción (Chile)

© 2024 Mingtsu Leonardo Chang Liu

© 2024 Mingsu Leonardo Chang Liu

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales para la realización de esta memoria de título. En primer lugar, agradezco profundamente a Rodrigo Morales, mi tutor guía en esta memoria de título y jefe de mejora continua. Su experiencia, guía y enseñanzas fueron esenciales para mi desarrollo profesional y personal. A Jorge Jiménez, mi profesor guía en la universidad y profesor de evaluación de proyectos, le extiendo mi gratitud por sus valiosas enseñanzas y disposición para brindar orientación en este proceso. A Raúl Díaz, gerente de planta El Colorado, le agradezco su colaboración y el acceso a la planta, lo cual fue crucial para la obtención de información y el desarrollo de mi carrera como futuro profesional. Juan Cabrera, de la Unidad de Factor Operacional y Rendimiento: Gracias por recibirme con tus brazos abiertos, tu apoyo fue fundamental para completar mi trabajo. Fabián Peña, jefe de operaciones en el aserradero: Gracias por compartir tu oficina, apoyo y conocimientos. Arturo, supervisor de aserradero: Gracias por tu disposición a ayudarme, fue muy valioso e importante tanto para mí como para mi estudio. Carlos Escobar, generalista en gestión de personas: Siempre alegre y dispuesto a ayudar, generaste un muy cálido ambiente. Mauricio Mora, Salvador Catriman, y Nixon Torres: Gracias por las risas que compartimos durante mi estadía, los almuerzos y visitas a terreno. Al resto de la administración de El Colorado, mi más sincero agradecimiento por su colaboración y apoyo. Levantarse a las 5:30am, viajar 4 horas diarias en bus y con jornadas de 10 horas fue una experiencia agradable porque mi estadía en el aserradero fue un lugar cálido y acogedor gracias a ustedes.

Agradezco a mis cercanos, por su amor y apoyo constante. A mi padre y madre por apoyarme incondicionalmente, por guiarme al buen camino, enseñarme lo que es correcto y por mostrarme que el esfuerzo duro rinde frutos. Gracias a mi pareja, Josefa Aguillón, por acompañarme desde cerca en todo el proceso, por tu confianza y tu fe en mí. A mis amigos, gracias por estar siempre ahí. Quiero mencionar a Neruda, Real Pucón y The Boys por ser parte de mi círculo de amistad cercana fuera de la universidad. Jorge Carpo, Sebastián Montoya y Gogos, espero que podamos seguir compartiendo. El mundo laboral es incierto y llena de oportunidades, espero que nos crucemos en un futuro. Agradezco a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para superar los desafíos y completar este proyecto. Su guía ha sido fundamental en cada paso de este camino. A todos ustedes, muchas gracias por su tiempo, dedicación y por creer en mi capacidad para completar este desafío. Su apoyo ha sido fundamental para que hoy pueda presentar este trabajo con orgullo y satisfacción.

Resumen

El rubro forestal es una actividad económica relevante para la región del Biobío y presenta una oportunidad de desarrollo. Este proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de reemplazar el uso de una grúa móvil en el Aserradero El Colorado de Arauco. La problemática surge ante la necesidad de optimizar los costos operativos y considerando la disponibilidad de grúas estacionarias tras el cierre de la planta Horcones II. La metodología consistió en varias etapas: Se realizó un estudio de la operación actual, enfocándose en el análisis de fallas en la zona de alimentación. Este análisis permitió identificar las funciones críticas y las soluciones actuales. Luego, se procedió a registrar en terreno cada interrupción del proceso con precisión temporal y se identificaron las zonas críticas de intervención dentro del aserradero. Con esta información, se propuso un diseño que incluye la instalación de dos grúas estacionarias en ubicaciones estratégicas, considerando un análisis técnico que abarcó la compatibilidad operacional, el alcance de las grúas y las restricciones de espacio. Además, se desarrolló un modelo de simulación en Flexsim para analizar los impactos en la producción bajo diferentes escenarios operativos, incorporando variables clave como el ajuste de la velocidad de los feeders y la distribución de probabilidad de interrupciones. Los resultados del estudio técnico indican que la implementación de las grúas estacionarias es viable, siempre y cuando se realice un ajuste en el ritmo de alimentación de los feeders a 21 trozos por minuto. La simulación mostró que, sin este ajuste, la producción disminuiría hasta un 16%, con pérdidas mensuales de hasta \$300 millones en escenarios con diámetros de trozos de 14 a 20 cm. En contraste, al optimizar el ritmo de alimentación, se logra mantener el mismo nivel de producción que con la grúa móvil, garantizando la eficiencia operativa. Desde un punto de vista económico, el análisis de costo-beneficio mostró que: la implementación de grúas estacionarias presenta un Valor Actual Neto (VAN) de \$327.647.825, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 108%, y un periodo de recuperación de la inversión de 11 meses. Comparativamente, el costo presente de mantener la grúa móvil es significativamente mayor en 25 años, alcanzando \$1.011 millones, mientras que la opción de las grúas estacionarias se estima en \$169 millones en valor presente. Esto se traduce en una reducción del Costo Anual Equivalente (CAE) del 84%. El análisis de sensibilidad mediante simulación Montecarlo ratifica la robustez del proyecto, con un VAN promedio de \$332 millones y una TIR promedio de 110% bajo escenarios conservadores. En conclusión, la sustitución de la grúa móvil por grúas estacionarias en el El Colorado no solo es técnica y económicamente factible, sino que resulta en una solución altamente rentable que asegura la sostenibilidad operativa a largo plazo.

Abstract

The forestry sector is a significant economic activity in the Biobío region and presents an opportunity for growth. This project aims to assess the technical and economic feasibility of replacing the use of a mobile crane at Aserradero El Colorado in Arauco. The issue arises from the need to optimize operational costs and considers the availability of stationary cranes after the closure of the Horcones II plant. The methodology involved several stages: first, a study of the current operations was conducted, focusing on analyzing failures in the feeding area. This analysis identified critical functions and existing solutions. Next, each process interruption was recorded in the field with precise timing, and the critical intervention zones within the sawmill were identified. Based on this information, a design was proposed that includes the installation of two stationary cranes in strategic locations, considering a technical analysis covering operational compatibility, crane reach, and space constraints. Additionally, a simulation model was developed in Flexsim to analyze production impacts under different operating scenarios, incorporating key variables such as the adjustment of feeder speed and the probability distribution of interruptions. The technical study results indicate that implementing stationary cranes is feasible, provided the feeder speed is adjusted to 21 logs per minute. The simulation showed that without this adjustment, production could decrease by up to 16%, leading to monthly losses of up to \$300 million in scenarios with log diameters ranging from 14 to 20 cm. In contrast, optimizing the feeding speed maintains the same production level as the mobile crane, ensuring operational efficiency. From an economic perspective, the cost-benefit analysis revealed that the implementation of stationary cranes offers a Net Present Value (NPV) of \$327,647,825, an Internal Rate of Return (IRR) of 108%, and a payback period of 11 months. In comparison, the present cost of maintaining the mobile crane over 25 years is significantly higher, reaching \$1.011 billion, while the stationary crane option is estimated at \$169 million in present value. This results in an 84% reduction in the Equivalent Annual Cost (EAC). Sensitivity analysis using Monte Carlo simulation confirms the project's robustness, with an average NPV of \$332 million and an average IRR of 110% under conservative scenarios. In conclusion, replacing the mobile crane with stationary cranes at El Colorado is not only technically and economically feasible but also a highly profitable solution that ensures long-term operational sustainability.

Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Justificación.....	2
1.2	Marco Teórico	2
1.2.1	Proceso Productivo Aserraderos.....	3
1.2.2	Seguridad.....	4
1.2.3	Indicadores operacionales Aserradero	5
1.2.4	Otros Conceptos Relevantes.....	5
1.3	Objetivo	6
1.3.1	Objetivo General	6
1.3.2	Objetivos Específicos	6
1.4	Alcance del Estudio	7
1.5	Limitaciones del Estudio	7
2	Metodología	8
2.1	Estudio de Factibilidad Técnica.....	8
2.1.1	Análisis de Infraestructura	9
2.1.2	Análisis operativo y compatibilidad funcional de las grúas	9
2.1.3	Ubicación Factible.....	10
2.1.4	Impacto FO en Aserradero.....	11
2.1.5	Simulación Flexsim	12
2.1.6	Escenarios Evaluados	12
2.1.7	Descripción de la Simulación.....	14
2.1.8	Elementos de la simulación.....	15
2.1.9	Pérdida de Producción	18
2.1.10	Requerimientos del personal	19
2.2	Estudio de factibilidad Económica.....	19
2.2.1	Flujo de caja Incremental.....	20
2.2.2	Horizonte Evaluación	21
2.2.3	Depreciación de activos	21
2.2.4	Valor de desecho.....	21
2.2.5	Fuentes de Financiamiento.....	21
2.2.6	Tasa de Descuento.....	21
2.2.7	Valor Actual Neto (VAN).....	22
2.2.8	Tasa Interna de Retorno (TIR)	22
2.2.9	Periodo de Payback	22
2.2.10	Cálculo de Costo Anual Equivalente (CAE)	22
2.2.11	Análisis de sensibilidad.....	23
3	Resultados	25
3.1	Estudio de Factibilidad Técnica.....	25
3.1.1	Zona de Ingreso de Trozos.....	26

3.1.2	Layout	26
3.1.3	Grúa actual.....	27
3.1.4	Adquisición de Grúas Estacionarias	28
3.1.5	Causas de Intervención de Grúa Liebherr	31
3.1.6	Ubicación Factible para las Grúas Estacionarias	34
3.1.7	Compatibilidad Operacional	36
3.1.8	Simulación Flexsim	38
3.1.9	Requerimientos del Personal.....	40
3.1.10	Discusión Factibilidad Técnica	41
3.2	Estudio de Factibilidad Económica.....	42
3.2.1	Costos Grúa Liebherr.....	42
3.2.2	Costos Grúas Estacionarias	42
3.2.3	Inversión Inicial	43
3.2.4	Activos Fijos	43
3.2.5	Gastos de implementación	45
3.2.6	Cálculo de la Inversión Inicial.....	47
3.2.7	Costos Variables.....	47
3.2.8	Costos Fijos	48
3.2.9	Incremental	49
3.2.10	Tasa de descuento.....	49
3.2.11	Depreciación de los activos.....	50
3.2.12	Flujo de caja.....	50
3.2.13	Costo Anual Equivalente (CAE)	52
3.2.14	Simulación de Montecarlo	53
4	Conclusión	55
4.1	Recomendaciones	56
5	Bibliografía	57
6	Anexo.....	59

Índice de Tablas

Tabla 1: Formato para muestreo de intervenciones Grúa Liebherr.....	9
Tabla 2: Descripción Esquema de Máquinas en Zona de Ingreso de Trozos.....	11
Tabla 3: Velocidad de cadenas transportadoras.....	15
Tabla 4: Tiempo de Proceso en feeders.....	16
Tabla 5: Distribución de probabilidad de interrupciones por Zona.....	16
Tabla 6: Producción mes de marzo 2024.....	19
Tabla 7: Especificaciones Técnicas Grúa SIGU GE12.....	29
Tabla 8: Intervenciones Grúa Liebherr.....	32
Tabla 9: Comparación Funcionalidades Grúa Liebherr v/s Grúas Estacionarias.....	37
Tabla 10: Resultados Simulación.....	38
Tabla 11: Comparación Escenarios.....	39
Tabla 12: Estimación de Producción Anual a partir de resultados de simulación Flexsim.....	39
Tabla 13: Estructura de Costos (pesos) Grúa Liebherr 2023.....	42
Tabla 14: Inversión Total del Proyecto.....	47
Tabla 15: Incremental del Proyecto de Grúas Estacionarias.....	49
Tabla 16: Depreciación de los activos fijos.....	50
Tabla 17: Flujo de Caja Incremental B-A.....	50
Tabla 18: Flujo de Caja Incremental C-A.....	51
Tabla 19: Comparación CAE.....	52
Tabla 20: Resultados clave Simulación de Montecarlo.....	53

Índice de Figuras

Figura 1: Flujo de Producción Industria del Aserrió	3
Figura 2: División de Zonas	13
Figura 3: Vista Aérea Zona Ingreso de Trozos.....	26
Figura 4: Diagrama Zona de Ingreso de Trozos.....	27
Figura 5: Grúa Liebherr	28
Figura 6: Especificaciones técnicas Grúa Liebherr	28
Figura 7: Grúa SIGU en Horcones II	29
Figura 8: Grúa PALFINGER en Horcones II.....	30
Figura 9: Tiempo de Uso v/s Tiempo Muerto - Grúa Liebherr	30
Figura 10: Cantidad de Intervenciones según tipo de Causa.....	33
Figura 11: Tasa de Intervenciones por Diámetro de Rollizo	33
Figura 12: Porcentaje de Intervenciones de grúa por máquina	34
Figura 13: Propuesta de Ubicación para Grúas Estacionarias.....	35
Figura 14: Vista Lateral Zona de Ingreso de Trozos.....	36
Figura 15: Cálculo Variación IPC diciembre 2018 a mayo 2024	43
Figura 16: Sistema de Cámara Inalámbrica Profesional	44
Figura 17: Radiocontrol inalámbrico TXRX F24-60	45
Figura 18: Recorrido desde Horcones II hasta El Colorado.....	46
Figura 19: Grúa torre SELF-ERECTING Hidráulica H 25.....	48
Figura 20: Comparación CAE Escenario A y C.....	53
Figura 21: Frecuencia VAN Simulación de Montecarlo	54

Índice de imágenes

Imagen 1: Grúa Liebherr retira Trozo Quebrado	32
Imagen 2: Cruzamiento de rollizo en Feeder 1	32
Imagen 3: Grúa Liebherr Alimentando el Aserradero debido a Falla Mecánica en Feeders 3 y 4	32

Índice de Anexos

Anexo 1: Rango de Operación Grúa Palfinger PK23500	59
Anexo 2: Registro de Intervenciones Grúa Liebherr	60
Anexo 3: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 1	62
Anexo 4: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 2	62
Anexo 5: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 3	63
Anexo 6: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 4	63
Anexo 7: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona Rechazo	64
Anexo 8: Resultados Simulación Flexsim Escenario A1	64
Anexo 9: Resultados Simulación Flexsim Escenario B1	65
Anexo 10: Resultados Simulación Flexsim Escenario C1	65
Anexo 11: Resultados Simulación Flexsim Escenario A2	66
Anexo 12: Resultados Simulación Flexsim Escenario B2	66
Anexo 13: Resultados Simulación Flexsim Escenario C2	67
Anexo 14: NUEVA TABLA DE VIDA ÚTIL DE LOS BIENES FÍSICOS DEL ACTIVO INMOVILIZADO	68
Anexo 15: Flujo de caja Escenario A	69
Anexo 16: Flujo de caja Escenario B	70
Anexo 17: Flujo de caja Escenario C	71
Anexo 18: Distribución de Probabilidades en Costos Variables Escenario A	72
Anexo 19: Distribución de Probabilidades en Costos Fijos Escenario A	72
Anexo 20: Distribución de Probabilidades en Inversión Total Escenario C	73
Anexo 21: Distribución de Probabilidades en Costos Variables Escenario C	73
Anexo 22: Distribución de Probabilidades en Costos Fijos Escenario C	74
Anexo 23: Distribución de Probabilidades en Tasa de descuento	74
Anexo 24: Estadísticas de VAN Simulación de Montecarlo	75

Anexo 25: Frecuencia de TIR Simulación de Montecarlo75

Anexo 26: Estadísticas TIR simulación de montecarlo76

Anexo 27: Simulación de Montecarlo Payback76

Anexo 28: Estadísticas Simulación de Montecarlo Payback77

1 Introducción

La empresa Arauco tiene sus orígenes en Constitución, Chile, donde en diciembre de 1968 se estableció la Sociedad Celulosa Constitución con el fin de erigir una planta de celulosa. Tras su inauguración en septiembre de 1976, la empresa marcó un hito crucial en su historia en 1993 al fundar Aserraderos Arauco S.A. Esta expansión representó un paso fundamental en la diversificación de los negocios de Arauco, consolidando su posición como un actor clave en la industria maderera y reforzando su presencia en el sector forestal (Huerta, 2008). Un ejemplo de este crecimiento es la puesta en marcha del aserradero El Colorado en la comuna de Curanilahue.

A lo largo de los años, El Colorado se convirtió en un pilar de la comunidad local, contribuyendo al empleo y al desarrollo económico. En su trayectoria, el aserradero ha enfrentado diversos desafíos, desde cambios en las políticas forestales hasta fluctuaciones en los precios de la madera, lo que ha requerido una adaptación constante a tecnologías más modernas para mejorar su eficiencia y competitividad (Camerós, Saenz-Laguna, & Cia, 2011).

Datos recientes indican que la producción de madera aserrada experimentó una disminución en el año 2022, atribuida en gran medida a la baja demanda en el sector de la construcción debido a la paralización de proyectos (Velásquez, Recabarren, & Hernández, 2023). Sin embargo, se proyecta un crecimiento del mercado de madera aserrada en los próximos años, reflejando su importancia como un recurso renovable y respetuoso con el medio ambiente (Mordor Intelligence, 2024).

Según Mordor Intelligence (2024), la madera aserrada se está convirtiendo cada vez más en una alternativa a los materiales no renovables, impulsando su demanda en países como China y Estados Unidos, así como en otros grandes consumidores como Alemania, Canadá y Japón. Este fenómeno subraya el papel vital de la madera en los esfuerzos globales para abordar las amenazas ambientales y climáticas derivadas del uso excesivo de recursos no renovables.

El Colorado, se enfrenta al desafío de mantenerse competitivo en un mercado dinámico y en constante cambio. En este contexto, la mejora continua de las operaciones se vuelve fundamental para asegurar su posición y proyectar su crecimiento futuro. En su búsqueda constante de la mejora de sus operaciones, El Colorado actualmente encuentra oportunidades de mejora derivadas de interrupciones esporádicas en su sistema de alimentación, provocadas principalmente por cruzamientos de rollizos y atascos. Para hacer frente a estas eventualidades, la empresa ha recurrido desde el año 2012 al arriendo de una grúa móvil de la marca Liebherr, la cual desempeña un papel fundamental en la manipulación

y transporte de troncos dentro de la planta, principalmente, interviniendo en las interrupciones de la alimentación del aserradero con un gasto anual de \$103 millones. En la búsqueda de ahorro de gastos, se propone utilizar las grúas estacionarias de los ingresos de trozos del descortezador y del Aserradero Horcones II, para montarlas en el ingreso de trozos de planta El Colorado.

1.1 Justificación

A diferencia de otros aserraderos donde se operan con grúas fijas, en el caso del Aserradero El Colorado se optó por el arriendo de un servicio de grúa móvil desde el año 2012, luego de que la anterior grúa fija colapsara poniendo en riesgo la vida del operador. El cierre de operaciones del aserradero Horcones II, en agosto de 2023, ha dejado disponibles dos grúas estacionarias. Esta circunstancia plantea la posibilidad de evaluar la viabilidad y la conveniencia de incorporar estas grúas al proceso operativo del Aserradero El Colorado.

La adquisición de una o varias grúas estacionarias para la alimentación del aserradero se presenta como una alternativa que podría optimizar los procesos y reducir los costos operativos. Al operarse de manera remota desde la sala de operaciones por los mismos operadores del aserradero, se elimina la necesidad de contratar un operador de grúa.

En este contexto, surge la necesidad de explorar y analizar a fondo si la utilización de estas grúas estacionarias en la zona de alimentación del aserradero es factible en términos operativos y viable económicamente. Además, se busca determinar si este cambio en el modelo de operación puede contribuir a optimizar los procesos, reducir costos y mejorar la eficiencia general de la planta.

La evaluación técnica, económica y operativa de esta adquisición es fundamental para determinar su viabilidad y los posibles beneficios que traería consigo. Además, esta investigación proporcionará información valiosa y una visión completa para la toma de decisiones por parte del área de mejora continua de la empresa Arauco, sentando las bases para una posible implementación del proyecto. Por lo tanto, este estudio propone examinar detalladamente los beneficios potenciales, los desafíos inherentes y las posibles implicaciones de esta transición.

1.2 Marco Teórico

El marco teórico de este proyecto tiene como finalidad proporcionar una base conceptual que sustente el análisis y la evaluación realizados en el estudio. En primer lugar, se abordará el proceso productivo de los aserraderos, describiendo las etapas clave y el flujo de trabajo típico en este tipo de

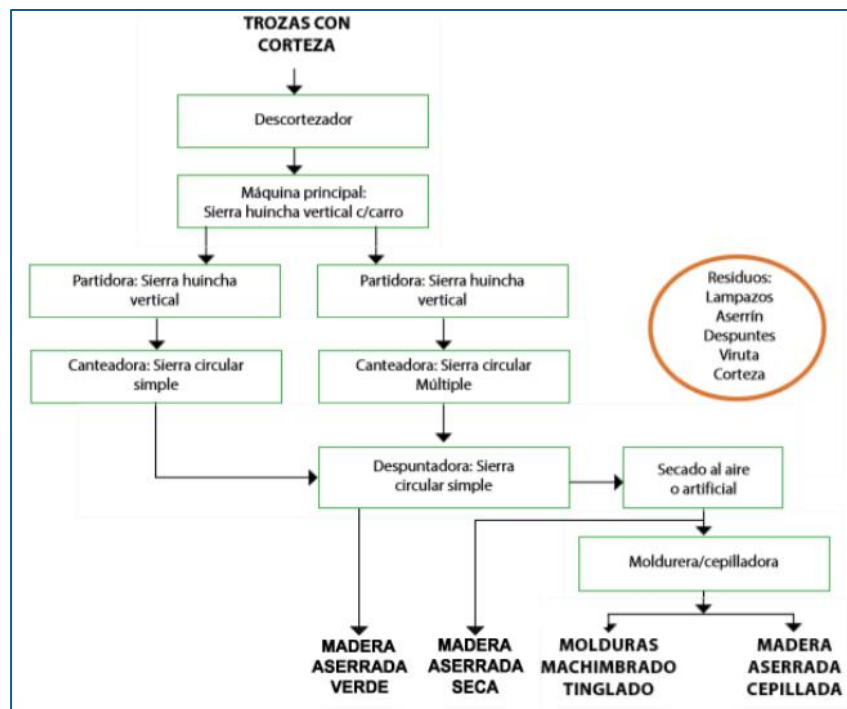
instalaciones. A continuación, se tratarán aspectos relacionados con la seguridad industrial, considerando las normativas y prácticas esenciales para garantizar un entorno seguro en operaciones con grúas y maquinaria pesada. Seguidamente, se expondrán los principales indicadores operacionales aplicables a un aserradero, los cuales serán utilizados para medir la eficiencia y desempeño en los escenarios evaluados. Finalmente, se presentarán otros conceptos relevantes que son fundamentales para el desarrollo del análisis, proporcionando un contexto adecuado para la comprensión de los aspectos técnicos y económicos involucrados en la propuesta de reemplazo de la grúa móvil por grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado.

1.2.1 Proceso Productivo Aserraderos

El proceso productivo de un aserradero comprende varias etapas clave que se inician con la recepción, descortezado y clasificación de los rollizos en la cancha de rollizos. Luego, los rollizos pasan por una serie de máquinas para realizar los cortes programados (Durán, 2008).

Es preciso mencionar que esta evaluación de prefactibilidad en la adquisición de grúas estacionarias se enfoca exclusivamente en la zona de alimentación del aserradero, proceso posterior al descortezado y anterior al ingreso a la máquina principal como muestra Figura 1.

Figura 1: Flujo de Producción Industria del Aserrío



Fuente: Instituto Forestal, 2020

Posterior a los cortes programados, la madera aserrada se clasifica en la zona de clasificación de la madera, donde se separa en distintos productos según su calidad y características. Esta tarea requiere la intervención de una cantidad considerable de personal debido a la necesidad de inspección visual en la mayoría de los casos. Después de la clasificación, la madera se divide en madera húmeda y seca. La madera húmeda se lleva al patio verde para procesos de reclasificación y ordenamiento, donde intervienen varios trabajadores para mover y preparar la madera para su despacho (Durán, 2008).

Por otro lado, la madera seca pasa a las cámaras de secado, donde se somete a altas temperaturas y presiones de vapor para su adecuado secado. Previamente, puede realizarse el proceso de empalillado para facilitar el secado uniforme de la madera. Una vez seca, la madera pasa a la zona de terminación de madera seca, donde se realiza una nueva clasificación y, en algunos casos, se lleva a cabo el cepillado para los productos que lo requieran. Este proceso también implica una dotación significativa de personal para la clasificación manual y el manejo de la maquinaria (Durán, 2008).

En lo que respecta a su dimensión, la industria del aserrío en Chile se distingue por contar con 18 unidades clasificadas como grandes aserraderos, cuya producción anual supera los 100.000 m³; 92 unidades identificadas como aserraderos medianos, con una producción anual que oscila entre los 10.000 y 100.000 m³; y 847 unidades consideradas como aserraderos pequeños, cuya producción anual es inferior a los 10.000 m³ (Instituto Forestal, 2020). En este contexto, El Colorado se encuentra dentro de la categoría de grandes aserraderos, ya que su producción anual real supera los 200.000 m³.

1.2.2 Seguridad

En diciembre de 2017, se establece en Arauco la Política de Medio Ambiente, Calidad, Seguridad y Salud Ocupacional: “La visión en ARAUCO es contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, desarrollando productos forestales para los desafíos de un mundo sostenible” (ARAUCO, 2017). Este compromiso se manifiesta en:

1. Cumplimiento de la legislación y estándares internacionales
2. Atender los requisitos de los clientes para establecer relaciones duraderas.
3. Mejora continua del desempeño mediante la gestión integrada de riesgos y el manejo adecuado de aspectos ambientales, seguridad y calidad.
4. Prevención de accidentes, enfermedades laborales y contaminación ambiental.

5. Capacitación adecuada para todos los trabajadores y proveedores, garantizando condiciones para un trabajo seguro y responsable.
6. Difusión de estos compromisos entre empleados, proveedores y otras partes interesadas.

En este contexto, se resalta la mejora continua y la prevención de accidentes, pilares fundamentales para la toma de decisiones al evaluar proyectos como lo es la adquisición de las grúas estacionarias contempladas.

1.2.3 Indicadores operacionales Aserradero

- **Ritmo de Producción (Ritmo):** Es la relación entre la producción real y la producción potencial.
- **Factor de Uso (FU):** Indica el uso efectivo del tiempo. Resulta del cociente entre el tiempo total disponible de trabajo y el tiempo efectivo de trabajo.
- **Factor de Operación o Factor Operacional (FO):** Es el principal indicador de desempeño del aserradero y es el producto entre el Factor de Uso y Ritmo de Producción.
- **Rendimiento (R%):** Es el porcentaje de la materia prima que se transforma en producto de valor.
- **Producción:** Es la cantidad de materia prima procesada.
- **Producción Real:** Es la cantidad de materia prima que se transforma en producto de valor. Es el producto entre Producción y R%.
- **Productividad:** Es la producción Real por unidad de tiempo.

1.2.4 Otros Conceptos Relevantes

Trozo o Rollizo: Es la sección del tronco del árbol destinada a ser aserrada, siendo así la materia prima del aserradero.

Velocidad de Línea: Es la velocidad a la que se mueve la cadena transportadora de trozos en el aserradero. Se mide en metros por minuto y determina el Ritmo de Producción. La velocidad es limitada por distintos factores: la cinemática de corte de las sierras y potencia en las máquinas.

Cubicación JAS: Es un método estándar utilizado para determinar el volumen de madera en forma de trozos o piezas irregulares.

GAP: Espacio entre trozos en la línea de producción.

1.3 Objetivo

Este apartado presenta los objetivos que guían el desarrollo del estudio. El objetivo general se enfoca en evaluar la viabilidad técnica y económica de la incorporación de grúas estacionarias en la zona de alimentación del Aserradero El Colorado, con el fin de determinar su impacto en la mejora continua de las operaciones. Para alcanzar este objetivo, se han definido una serie de objetivos específicos que abordan tanto la evaluación de la infraestructura y el diseño actual del aserradero como el análisis del desempeño operativo de la grúa móvil en uso. Además, se investigan las características de las grúas estacionarias disponibles y su adaptación a las necesidades del aserradero. La comparación de costos, el análisis de riesgos y la exploración de alternativas en caso de no viabilidad completan el enfoque integral de este estudio.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la incorporación de grúas estacionarias en la zona de alimentación del Aserradero El Colorado de Empresas Arauco con el propósito de evaluar el impacto de su potencial implementación para el área de mejora continua.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Evaluar la infraestructura y diseño actual del Aserradero El Colorado
- b) Analizar el desempeño operativo de la grúa móvil actualmente en uso en términos de eficacia en la manipulación y transporte de troncos, así como su capacidad para resolver interrupciones en la alimentación del aserradero.
- c) Investigar las características técnicas y la funcionalidad de las grúas estacionarias disponibles en Horcones II, y evaluar su adaptación a las necesidades específicas del Aserradero El Colorado.
- d) Comparar los costos operativos de la grúa móvil con los costos asociados a la adquisición, instalación y puesta en marcha de las grúas estacionarias para determinar su viabilidad económica.
- e) Identificar y analizar los riesgos potenciales asociados con la integración de grúas estacionarias en el proceso operativo del aserradero, y proponer estrategias de mitigación para abordar estos riesgos.
- f) Explorar alternativas viables en caso de que la implementación de grúas fijas no sea factible desde el punto de vista técnico o económico, considerando opciones de mejora del sistema actual.

1.4 Alcance del Estudio

El estudio se centra específicamente en evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de grúas estacionarias en el proceso de alimentación del Aserradero El Colorado. Se analiza la infraestructura actual del aserradero, el desempeño operativo de la grúa móvil existente y la capacidad operativa y funcionalidad de las grúas fijas disponibles.

El análisis económico se enfoca en comparar los costos operativos actuales del arriendo del servicio de la grúa móvil con los costos asociados a la adquisición, instalación y operación de grúas fijas.

1.5 Limitaciones del Estudio

El estudio se basa en datos disponibles y accesibles sobre la infraestructura y operaciones del Aserradero El Colorado, lo que podría limitar la profundidad del análisis. La evaluación económica se realizó en función de la disponibilidad de información disponible sobre los costos operativos específicos y los presupuestos disponibles para la adquisición e instalación de grúas estacionarias.

La implementación práctica de las recomendaciones derivadas del estudio no es abordada en profundidad y requerirá de un análisis adicional de factibilidad y gestión de proyectos para su implementación.

El estudio no aborda en detalle otros aspectos operativos del aserradero que no estén directamente relacionados con la implementación de grúas estacionarias de la zona de ingreso de trozos, como procesos de producción adicionales o gestión de recursos humanos.

2 Metodología

Este capítulo describe la metodología empleada para evaluar la viabilidad técnica y económica de reemplazar la grúa móvil en el Aserradero El Colorado por grúas estacionarias. La metodología se estructuró en varias etapas clave. En primer lugar, se recopiló información a través de entrevistas, cuestionarios, observación directa y análisis de registros operativos para caracterizar la infraestructura actual y las funciones críticas que las grúas estacionarias deberían asumir. A partir de estos datos, se identificaron las áreas críticas dentro del aserradero y se propuso un diseño preliminar con la ubicación de las nuevas grúas, considerando su compatibilidad operacional, alcance y las restricciones de espacio.

Posteriormente, se realizó una simulación en el software Flexsim para modelar los diferentes escenarios operativos y analizar los impactos en la producción, incorporando variables clave como la velocidad de los feeders y la probabilidad de interrupciones. Para definir estas distribuciones de probabilidad, se utilizó StatFit, una herramienta que permitió ajustar y seleccionar las distribuciones más representativas a partir de los datos recopilados. Este análisis fue complementado con datos técnicos de las grúas estacionarias disponibles y una evaluación económica que consideró los costos operativos tanto de la grúa móvil como de las grúas fijas.

Además, se llevó a cabo una simulación de Montecarlo para realizar un análisis de sensibilidad, evaluando el comportamiento del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) bajo distintas condiciones de incertidumbre. Esta simulación permitió explorar la variabilidad de los resultados y reforzar la solidez de las conclusiones.

Un aspecto crucial de la evaluación fue la consideración de un ajuste en el ritmo de los feeders a 21 trozos por minuto, una condición aún no implementada, lo que permitió analizar dos escenarios: uno con dicho ajuste y otro sin él. Esta dualidad permitió explorar los posibles resultados y ofrecer una visión más completa para la toma de decisiones.

2.1 Estudio de Factibilidad Técnica

El estudio de factibilidad técnica se lleva a cabo con el propósito de evaluar la viabilidad y practicidad de retirar la grúa móvil actual e implementar las grúas estacionarias en el proceso de alimentación del Aserradero El Colorado. Este análisis tiene como objetivo determinar si estas grúas

mantiene las necesidades específicas del aserradero en términos de capacidad operativa, funcionalidad y adaptabilidad al entorno existente.

Además, se compara el desempeño operativo de la grúa móvil actualmente en uso con las capacidades potenciales de las grúas estacionarias, con el fin de identificar posibles mejoras seguridad y factor operacional. Los resultados de este estudio proporcionan una base sólida y fundamentada para la toma de decisiones respecto a la implementación de grúas fijas, incluyendo recomendaciones claras sobre la viabilidad técnica del proyecto y las acciones necesarias para su implementación exitosa.

2.1.1 Análisis de Infraestructura

Se realizó un análisis de la infraestructura actual del aserradero, enfocado en la zona de ingreso de trozos. Se evaluó el diseño y la disposición actual para identificar la compatibilidad y posibles adaptaciones necesarias para la integración de las grúas estacionarias provenientes del cierre de operaciones del Aserradero Horcones II.

2.1.2 Análisis operativo y compatibilidad funcional de las grúas

Se realizó una comparación detallada de las funcionalidades de la grúa Liebherr con las de las grúas estacionarias propuestas evaluando mejoras en seguridad y eficiencia operativa. El análisis incluye desempeño operativo y su eficacia en la manipulación y transporte de troncos, así como su capacidad para resolver interrupciones en la zona de alimentación del aserradero considerando su adaptación a las necesidades específicas del Aserradero El Colorado.

Este análisis es fundamental, ya que permite determinar las características y capacidades necesarias que deben tener las grúas a adquirir. Se centra en el tiempo de operación y las causas de intervención de la Grúa A 924 C Litonic de la marca Liebherr (en adelante Grúa Liebherr). Se recogen datos sobre la frecuencia y las razones de intervención, prestando especial atención a los diámetros de rollizo que requieren más intervenciones. También se detallan las especificaciones técnicas y las funciones de la grúa móvil actual, comparándolas con las de las grúas fijas propuestas.

Tabla 1: Formato para muestreo de intervenciones Grúa Liebherr

Fecha	Hora inicio	Hora final	Máquina	Causa/origen Evento	Ø (cm)	Largo (mm)	Despl. Posición original	T. en uso (min)
-------	-------------	------------	---------	---------------------	--------	------------	--------------------------	-----------------

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un muestreo de 31 horas de operaciones en el aserradero y se registraron 105 intervenciones de la grúa en la zona de ingreso de trozos. Estas observaciones (Anexo 2) proporcionan información crucial para la toma de decisiones. Dentro de este análisis, se examina el tiempo de uso efectivo de la grúa arrendada, identificando períodos de inactividad y las razones detrás de estos. Además, se clasifican y cuantifican las causas de intervención de la grúa Liebherr. Este análisis incluye la presentación de tablas y gráficos que detallan la cantidad de intervenciones según cada tipo de causa, la tasa de intervenciones en función del diámetro del rollizo y el porcentaje de intervenciones de la grúa por cada máquina en la zona de ingreso de trozos.

Conocer la cantidad de interrupciones según el diámetro del rollizo será de ayuda para enfocar las intervenciones de la Grúa Liebherr y podría ser información útil para la toma de decisiones en proyectos futuros para buscar la disminución de estas interrupciones en la zona de ingreso de trozos. Para analizar las intervenciones se lleva a la misma unidad de tiempo:

$$\text{Tasa de Intervenciones por hora} = \frac{\text{Total de intervenciones}}{\text{Total de horas de estudio}}$$

2.1.3 Ubicación Factible

Para evaluar la ubicación factible de las grúas estacionarias, es imprescindible conocer dónde será utilizada. Por lo tanto, se dibuja un mapa de la zona de ingreso de trozos indicando dónde ocurre la mayor cantidad de intervenciones utilizando los datos recopilados en Tabla 2.

Se propone una ubicación factible para la instalación de las grúas estacionarias, considerando el layout y las necesidades operativas del aserradero. Con la ayuda de AUTOCAD y los planos del aserradero, se elabora una propuesta de ubicación específica para cada grúa estacionaria, justificando su posición estratégica y considerando las dimensiones de los cimientos tomando como referencia instalaciones de grúas similares de Arauco.

Tabla 2: Descripción Esquema de Máquinas en Zona de Ingreso de Trozos

Mesa 10	Mesa de alimentación
Feeder 1	Unitizador ¹ de trozos
Feeder 2	Unitizador de trozos
Equipo 31	Pateador
Scanner de sombra	Identifica el diámetro menor del trozo
Equipo 55	Pateador de trozos
Equipo 40	Transporte de trozos
Equipo 60	Mesa transportadora plana izquierda
Equipo 61	Transportador elevador de trozos
Equipo 62	Mesa de traspaso
Equipo 70	Transportador de trozos
Feeder 3	Unitizador de trozos
Equipo 100.1	Transportador de aceleración
Scanner Girador	Ejecuta las órdenes del scanner, de acuerdo con los grados de giro
Equipo 106	Transportador de trozos
Feeder 4	Unitizador de trozos
Equipo 110	Transportador de trozos
Equipo 112	Mesa de traspaso
Equipo 113	Transportador elevador de trozos
Equipo 111	Mesa transportadora plana derecha
Equipo 56	Pateador de trozos

Fuente: Encargado factor operacional y rendimiento El Colorado (18 de enero 2024)

2.1.4 Impacto FO en Aserradero

El impacto de la implementación de grúas estacionarias en el desempeño general del aserradero también fue evaluado. Se simularon y compararon los ritmos de producción del aserradero en diferentes escenarios para determinar cómo estas grúas podrían mantener el flujo de producción y satisfacer las necesidades de intervención actualmente cubiertas por la grúa móvil. El análisis se lleva a cabo utilizando Flexsim², un software de simulación y modelado que permite evaluar los efectos operacionales de las grúas estacionarias, brindando una evaluación más precisa del riesgo asociado al proyecto. Para generar las condiciones de borde en la simulación, se integraron los planos y dimensiones del aserradero. Además, la distribución de probabilidad de las interrupciones fue

¹ Unitizador de trozos: también es conocido como feeder.

² 3D Simulation Modeling and Analysis Software: <https://www.flexsim.com/>

estimada con StatFit, utilizando datos recopilados en terreno durante la práctica profesional. Esto proporciona una representación realista de las posibles interrupciones en el flujo operativo.

El análisis se centra en la productividad y funcionalidad de las grúas en las ubicaciones propuestas, evaluando si las grúas estacionarias pueden cubrir adecuadamente las necesidades específicas de intervención dentro del aserradero. Estos aspectos son fundamentales para determinar la viabilidad y efectividad de sustituir la grúa móvil por opciones estacionarias.

2.1.5 Simulación Flexsim

La simulación consistió en recrear la situación actual del aserradero para compararlo con la situación deseada, es decir, con la implementación de las grúas estacionarias. Lo que se desea evaluar es el impacto en el desempeño (producción de rollizos) que tendría el proyecto en los distintos escenarios posibles.

2.1.6 Escenarios Evaluados

Se comparó el desempeño del aserradero en términos de producción definiéndose 3 escenarios:

Escenario A: Es la situación actual del aserradero. Opera la grúa Liebherr y los feeders 1 y 2 operan a un ritmo máximo de 19 trozos/min.

Escenario B: Se retira la Grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. No hay cambio en el ritmo de los feeders 1 y 2.

Escenario C: Se retira la grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. El ritmo máximo de los feeders 1 y 2 sube a 21 trozos/min.

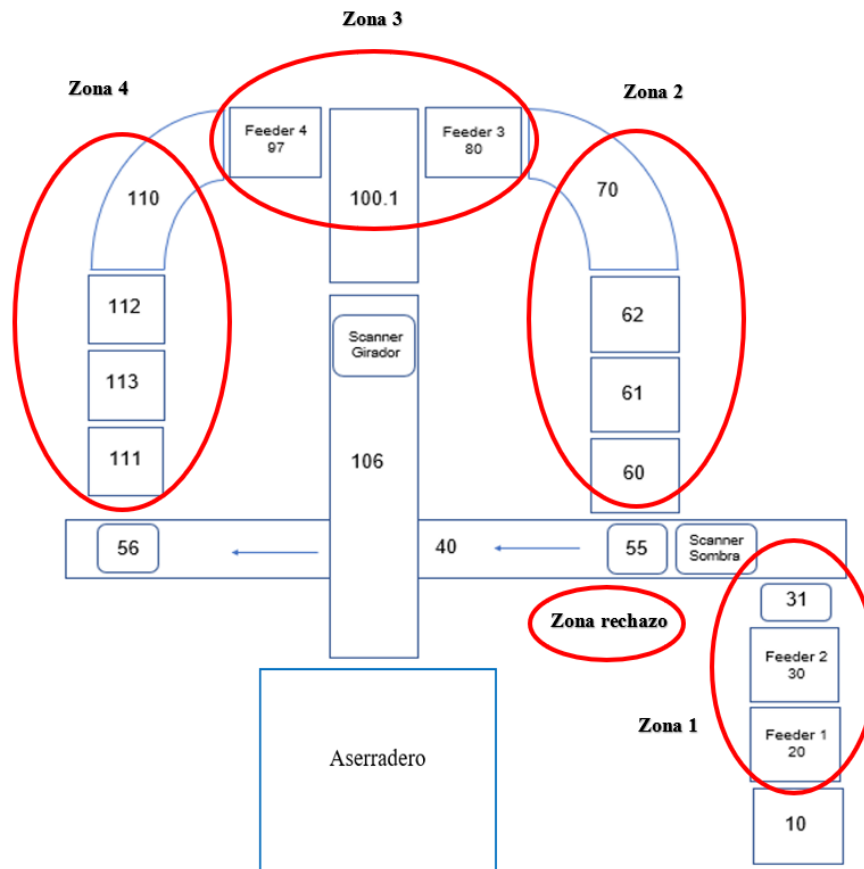
Para realizar la simulación se dividió en 5 zonas el proceso de ingreso de trozos para su simplificación:

Debido a que el aserradero opera a distintas velocidades y exigencias según el diámetro de los rollizos, se subdividen los escenarios:

- **Escenario A1:** Es la situación actual del aserradero. Opera la grúa Liebherr y los feeders 3 y 4 operan a un ritmo de 19 trozos/min. Programa de producción de diámetros de 14cm a 20cm.
- **Escenario A2:** Es la situación actual del aserradero. Opera la grúa Liebherr y los feeders 3 y 4 operan a un ritmo de 19 trozos/min. Programa de producción en diámetros de 22cm a 36cm.

- **Escenario B1:** Se retira la Grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. No hay cambio en el ritmo de los feeders 3 y 4. Programa de producción de diámetros de 14cm a 20cm.
- **Escenario B2:** Se retira la Grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. No hay cambio en el ritmo de los feeders 3 y 4. Programa de producción en diámetros de 22cm a 36cm.
- **Escenario C1:** Se retira la grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. El ritmo máximo de los feeders 3 y 4 sube a 21 trozos/min. Programa de producción de diámetros de 14cm a 20cm.
- **Escenario C2:** Se retira la grúa Liebherr y se implementan las grúas estacionarias. El ritmo máximo de los feeders 3 y 4 sube a 22 trozos/min. Programa de producción en diámetros de 22cm a 36cm.

Figura 2: División de Zonas



Fuente: Elaboración propia a partir de Layout de El Colorado entregada por encargado de Factor operacional y rendimiento (mayo 2024)

2.1.7 Descripción de la Simulación

La entidad en la simulación fue el rollizo, el cual se definió con 3 tipos de atributos:

- 1: Representan los rollizos que se deben orientar
- 2: Representan los rollizos que no se deben orientar
- 3: Representan los rollizos quebrados

En el input del sistema se generó rollizos con tres atributos diferentes según la siguiente distribución probabilística: El atributo 1 y el atributo 2 tendrán una probabilidad del 49,5% cada uno, mientras que el atributo 3 aparecerá solo el 1% de las veces. Esta distribución se basa en la información recopilada (Anexo 2 Anexo 1). Cada 0 segundos se genera un nuevo rollizo hasta completar 50 rollizos en la máquina 10, que sirve como almacenamiento.

Una vez que un rollizo es generado, entra en la zona 1, correspondiente al proceso de los feeders 1 y 2 con un tiempo de proceso definido según el programa de producción. Posteriormente, se mueve a través de la cadena transportadora y pasa por un escáner de sombra, que clasifica los rollizos según su atributo asignado. Los rollizos con atributo 1 se marcan en color rojo, los de atributo 2 en verde, y los de atributo 3 en azul.

- Los rollizos rojos son orientados para seguir su camino hacia la zona 4.
- Los rollizos verdes se dirigen a la zona 2, y de allí avanzan a la zona 3, donde finalmente ingresan al aserradero.
- Los rollizos azules, en cambio, son rechazados y desviados a una zona de descarte.

El objetivo de la simulación fue analizar el flujo de los rollizos en el aserradero (después de la zona 3) durante un turno completo de operación de 9,5 horas. Al final del proceso, se registraron cuántos rollizos ingresaron al aserradero, permitiendo evaluar el rendimiento y la eficiencia del sistema bajo estas condiciones.

Durante la simulación, se generaron interrupciones que requerirán la intervención de una grúa para reanudar el proceso. Cada vez que ocurra una de estas interrupciones, se detendrá la operación hasta que la grúa correspondiente realice las acciones necesarias para resolver la situación.

- En el **escenario A**, se utilizó la grúa móvil Liebherr para manejar todas las interrupciones. Este escenario simuló el funcionamiento actual con la grúa móvil como el único recurso para mantener la operación.
- En los **escenarios B y C**, la intervención estuvo a cargo de las grúas estacionarias propuestas. Se evaluó el desempeño de estas grúas en términos de eficiencia para resolver las interrupciones en comparación con la grúa móvil.

2.1.8 Elementos de la simulación

Las cadenas transportadoras fueron las encargadas de llevar los rollizos entre las distintas zonas definidas. Las cadenas tienen una velocidad definida según las especificaciones del aserradero y depende de la exigencia del programa de producción.

Tabla 3: Velocidad de cadenas transportadoras

Cadena Transportadora	Programa de producción	Velocidad (m/s)
40	Diámetros ≤ 20cm	1,50
	Diámetros > 20cm	1,30
Zona 2	Diámetros ≤ 20cm	0,22
	Diámetros > 20cm	0,20
Zona 4	Diámetros ≤ 20cm	0,22
	Diámetros > 20cm	0,20
106	Diámetros ≤ 20cm	1,47
	Diámetros > 20cm	1,00

Fuente: Comunicación personal con Supervisor Producción El Colorado (abril 2024)

Por otro lado, se calculó el tiempo de proceso de los feeders según el ritmo que tienen en base a los programas de producción. El ritmo depende de la exigencia del aserradero y el programa de producción. Se puede transformar el ritmo en tiempo de proceso de la siguiente manera:

$$Tiempo\ de\ proceso = \frac{1}{Ritmo} \cdot 60$$

De este modo, se obtuvieron los tiempos de proceso para cada zona en la simulación como se muestra en Tabla 4.

Tabla 4: Tiempo de Proceso en feeders

Escenario	Programa de producción	Proceso	Ritmo (trozos/min)	Tiempo de Proceso (segundos)
A	Diámetros \leq 20cm	Zona 1	19	3,15
		Zona 3	19	3,15
	Diámetros $>$ 20cm	Zona 1	15	4,00
		Zona 3	15	4,00
B	Diámetros \leq 20cm	Zona 1	19	3,15
		Zona 3	19	3,15
	Diámetros $>$ 20cm	Zona 1	15	4,00
		Zona 3	15	4,00
C	Diámetros \leq 20cm	Zona 1	21	2,73
		Zona 3	21	2,73
	Diámetros $>$ 20cm	Zona 1	15	4,00
		Zona 3	15	4,00

Fuente: Elaboración propia mediante comunicación personal con Supervisor Producción El Colorado (abril 2024)

Finalmente, utilizando los datos recopilados en Anexo 2 se generó la distribución de probabilidades para las interrupciones en las distintas zonas del aserradero. Se aplicó StatFit para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov obteniendo los datos en Tabla 5.

Para encontrar la distribución de probabilidades de interrupciones se utilizó el tiempo entre interrupciones, es decir, el tiempo inicial de interrupción menos el tiempo final de la interrupción anterior, de esta manera se obtuvo los tiempos entre procesos para ingresar en StatFit.

Tabla 5: Distribución de probabilidad de interrupciones por Zona

Zona	Distribución de probabilidad de interrupciones	Parámetros (minutos)
1	Lognormal	(0; 1,71; 1,20) Anexo 3
2	Lognormal	(0; 2,58; 1,41) Anexo 4
3	Lognormal	(0; 3,47; 0,96) Anexo 5
4	Lognormal	(0; 3,20; 0,85) Anexo 6
Rechazo	Lognormal	(0; 1,52; 1,44) Anexo 7

Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Para todas las zonas evaluadas (1, 2, 3, 4 y "Rechazo"), se determinó que la distribución Lognormal es la que mejor modela los tiempos entre interrupciones. Esto implica que el tiempo entre una interrupción y la siguiente sigue un patrón asimétrico, con la mayor parte de los tiempos siendo relativamente cortos, pero con la posibilidad de tiempos significativamente mayores (cola derecha más larga). Además, se consideró que cada interrupción detiene el proceso y requiere el uso de recurso de la grúa en funcionamiento para reanudar el proceso, ya sea la grúa Liebherr para el escenario A como las grúas estacionarias en los escenarios B y C.

Cada zona tiene sus propios parámetros específicos para la distribución Lognormal:

- **Zona 1:** Parámetros (0; 1,71; 1,2)
 - Tiempo entre interrupciones más frecuente: alrededor de 1,71 minutos.
 - Variabilidad de los tiempos: desviación estándar de 1,20 minutos.
- **Zona 2:** Parámetros (0; 2,58; 1,41)
 - Tiempo entre interrupciones más frecuente: alrededor de 2,58 minutos.
 - Variabilidad: desviación estándar de 1,41 minutos.
- **Zona 3:** Parámetros (0; 3,47; 0,97)
 - Tiempo entre interrupciones más frecuente: alrededor de 3,47 minutos.
 - Variabilidad: desviación estándar de 0,96 minutos.
- **Zona 4:** Parámetros (0; 3,20; 0,85)
 - Tiempo entre interrupciones más frecuente: alrededor de 3,20 minutos.
 - Variabilidad: desviación estándar de 0,85 minutos.
- **Rechazo:** Parámetros (0; 1,52; 1,44)
 - Tiempo entre interrupciones más frecuente: alrededor de 1,52 minutos.
 - Variabilidad: desviación estándar de 1,44 minutos.

Las zonas 3 y 4 presentaron tiempos más largos entre interrupciones, lo que podría indicar procesos más estables o menos interrumpidos en comparación con las zonas 1 y 2.

La zona de “Rechazo” muestra tiempos entre interrupciones más cortos y con mayor variabilidad, lo que sugiere que en esta área los problemas o paradas son más frecuentes e impredecibles. Con esta información, se modelaron los procesos de la simulación usando el software Flexsim.

2.1.9 Pérdida de Producción

Se realiza una comparación de los escenarios iniciales y finales, es decir, A con B y A con C. Para calcular la pérdida de producción:

$$\% \text{ Pérdida Producción} = \frac{\text{Producción Escenario Inicial}}{\text{Producción Escenario Final}} \cdot 100\%$$

Para calcular la pérdida de producción se toma como referencia la producción de marzo 2024.

Los diámetros de 14cm a 20cm representan el 57% de la producción total mientras que los diámetros de 22cm a 32cm representan el 43%.

$$\text{Pérdida en diámetros 14cm a 20cm (m}^3\text{Real)} = 57\% \cdot \% \text{ Pérdida Producción} \cdot 23657\text{m}^3$$

Según las estadísticas forestales del ministerio de agricultura, los precios del m³ de madera aserrada de pino radiata en el 2024 están en \$139.842 (INFOR, 2024).

Para calcular el total de pérdida en dinero:

$$\text{Pérdida (\$)} = \text{Precio madera aserrada} \left(\frac{\$}{\text{m}^3} \right) \cdot \text{Pérdida Producción (m}^3\text{Real)}$$

Para estimar las pérdidas anuales se multiplica por la cantidad de meses (12 meses).

Tabla 6: Producción mes de marzo 2024

Diámetro (cm)	Largo (mm)	JAS (m ³ /trozo)	Trozos (unidad)	consumo (m ³)	Producción Real (m ³)	% de Producción Total
14	3650	0,072	2542	181,9	90,9	0,91%
	4500	0,088	416	36,7	18,4	0,15%
16	3650	0,093	32310	3019,1	1509,5	11,63%
	4500	0,115	8644	995,7	497,9	3,11%
18	3650	0,118	44402	5250,9	2625,5	15,98%
	4500	0,146	11211	1634,6	817,3	4,03%
20	3650	0,146	46324	6763,4	3381,7	16,67%
	4500	0,180	11499	2069,9	1034,9	4,14%
22	3650	0,177	39316	6945,5	3472,8	14,15%
	4500	0,218	10027	2183,8	1091,9	3,61%
24	3650	0,210	26043	5475,4	2737,7	9,37%
	4500	0,259	6726	1743,3	871,6	2,42%
26	3650	0,247	16039	3957,5	1978,8	5,77%
	4500	0,304	4599	1398,9	699,5	1,65%
28	3650	0,286	9489	2715,5	1357,7	3,41%
	4500	0,353	2826	996,9	498,4	1,02%
30	3650	0,328	3645	1197,5	598,7	1,31%
	4500	0,405	1005	407,2	203,6	0,36%
32	3650	0,374	707	264,4	132,2	0,25%
	4500	0,461	166	76,3	38,2	0,06%
Total			277937	47314,3	23657,2	100,00%

Fuente: Encargada de control de producción El Colorado (17 de abril 2014)

2.1.10 Requerimientos del personal

Se determinaron los requerimientos de personal necesarios para operar y mantener las grúas estacionarias. Se proponen planes de capacitación y formación para el personal, asegurando una transición eficiente hacia el nuevo sistema de grúas fijas.

2.2 Estudio de factibilidad Económica

Este estudio tiene como objetivo analizar los costos asociados con la adquisición, instalación y operación de las grúas estacionarias, así como los beneficios económicos derivados de su implementación. Se evaluarán diversos factores, incluidos los costos de capital, los costos operativos,

los ahorros potenciales en tiempo y mano de obra, y el impacto en la productividad general del aserradero.

Se realiza un análisis de costo y beneficio evaluando los costos operativos a largo plazo del actual servicio de la grúa Liebherr y compararlos con los costos asociados a la adquisición, instalación y operación de grúas estacionarias a través de un análisis de flujo de caja, cálculo del Valor Actual de Costos (VAC), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de payback o periodo de tiempo que se requiere para recuperar la inversión en términos de ahorro de costos. El propósito es evaluar la viabilidad económica de la implementación de grúas estacionarias. De esta manera se puede determinar cuál de las opciones es más económica en términos de costos operativos a lo largo del tiempo.

Finalmente, se incluye un análisis de sensibilidad para evaluar cómo cambia la viabilidad económica del proyecto cuando se modifican ciertos supuestos clave, entre ellos los costos de adquisición de las grúas y los costos operativos.

2.2.1 Flujo de caja Incremental

Para realizar el flujo de caja, se calcula el beneficio incremental de introducir las grúas estacionarias en comparación a mantener la Grúa Liebherr, es decir, se calcula el ahorro anual.

Se utiliza el flujo de caja incremental para evaluar de manera precisa el impacto financiero adicional que este proyecto específico tendrá sobre El Colorado.

Evaluación de Incrementos Específicos:

- **Cambio en Operaciones:** El flujo de caja incremental permite evaluar los cambios específicos en los ingresos y costos asociados con la incorporación de las grúas estacionarias en comparación con la situación actual utilizando una grúa móvil.
- **Beneficios Marginales:** En lugar de analizar toda la operación del aserradero, el flujo de caja incremental se enfoca solo en los incrementos adicionales que el nuevo proyecto generará, ofreciendo una visión más clara de su impacto.

Se realizan los flujos de caja de los escenarios A, B y C y se realizan los incrementales B-A y C-A.

2.2.2 Horizonte Evaluación

Se prioriza un rápido retorno de la inversión y la maximización del valor en la medida de lo posible, considerando un horizonte de 5 años debido a la incertidumbre asociada a las variables económicas y políticas del entorno del proyecto.

2.2.3 Depreciación de activos

Para el cálculo de la depreciación anual se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{\text{Costo del activo} - \text{Valor de Salvamento}}{\text{Vida Útil}}$$

2.2.4 Valor de desecho

Se consideró:

$$\text{Valor libro (5años)} = \text{Valor de desecho}$$

Debido a que se requiere evaluar el flujo de caja puro, se liquidan los activos al quinto año, por lo tanto, se considera el valor libro de los activos al año 5 como valor de desecho.

2.2.5 Fuentes de Financiamiento

Arauco utilizará financiamiento 100% propio sin necesidad de recurrir a otras fuentes externas.

2.2.6 Tasa de Descuento

Se utiliza una tasa de descuento del 9% para los proyectos de Aserradero Arauco. Para efectos de corroborar esta cifra, se realiza el ejercicio de calcular la tasa de descuento mediante el Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM por sus siglas en inglés):

$$\text{Rendimiento Esperado} = R_f + \beta \times (R_m - R_f)$$

Donde:

- R_f es la tasa libre de riesgo (el rendimiento de una inversión sin riesgo, como los bonos del gobierno).
- β es el beta del activo (una medida de la volatilidad o riesgo sistemático del activo en comparación con el mercado).

- R_m es el rendimiento esperado del mercado (el rendimiento promedio del mercado en su conjunto).
- $(R_m - R_f)$ es la prima de riesgo del mercado (el rendimiento adicional esperado del mercado en comparación con la tasa libre de riesgo).

2.2.7 Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - Inversión\ Inicial$$

Donde:

- F_t son los flujos de efectivo netos en el período t
- r es la tasa de descuento o costo de capital requerido
- n es el número total de períodos de tiempo

2.2.8 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La fórmula para calcular la TIR es:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - Inversión\ Inicial$$

2.2.9 Periodo de Payback

Se calcula el periodo de payback de la inversión:

$$Periodo\ de\ Payback = \frac{Inversión\ Inicial}{Flujo\ de\ Caja\ Anual}$$

2.2.10 Cálculo de Costo Anual Equivalente (CAE)

Para ampliar aún más el análisis económico se compara el escenario con grúa Liebherr y el escenario con Grúas Estacionarias como 2 proyectos independientes. Para realizar la comparación, se calcula el CAE con la tasa de descuento del 9% y una vida útil de 25 años para las grúas estacionarias. Se calcula el Valor Actual de los Costos (VAC):

$$VAC = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - Inversión Inicial$$

donde:

- C_t es el costo total del periodo t
- r es la tasa de descuento
- n es el número total de períodos de tiempo

Cálculo de CAE:

$$CAE = \frac{VAC \cdot r}{(1 - (1+r)^{-n})}$$

2.2.11 Análisis de sensibilidad

Es fundamental evaluar y cuantificar los riesgos asociados para asegurar una toma de decisiones informada. Con este objetivo, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo utilizando la herramienta Crystal Ball en Excel, que permite realizar simulaciones de Montecarlo.

La simulación de Montecarlo es una técnica de modelado estadístico que permite considerar la incertidumbre y variabilidad de múltiples variables clave del proyecto, proporcionando una visión más completa de los posibles resultados y su distribución probabilística. En este análisis, se han modificado diversas variables críticas como el ahorro en costos, la venta de activos, la inversión total y la tasa de descuento.

La metodología aplicada consistió en realizar una simulación de Montecarlo con 100.000 iteraciones, considerando un intervalo de confianza del 95%. Las variables y parámetros clave fueron modificadas de los flujos de caja de los escenarios A y C para recalculer el incremental de los flujos de efectivo. Se consideraron distribuciones de probabilidad triangular:

- **Costos Variables Grúa Liebherr:** Costo más probable de \$58.600.000; mínimo de \$0 y máximo de +20%.
- **Costos Fijos Grúa Liebherr:** Costo más probable de \$44.400.000; mínimo de -20% y máximo de +20%.
- **Costos Variables Grúas Estacionarias:** Costo más probable de \$728.204; mínimo de -20% y máximo de +20%.

- **Costos Fijos Grúas Estacionarias:** Costo más probable de \$7.593.300; mínimo de -20% y máximo de +20%.
- **Inversión Total:** Costo más probable de \$87.354.540; mínimo de -20% y máximo de +20%.
- **Tasa de descuento:** Se consideró la tasa de mercado como la tasa máxima en 11%; la tasa mínima igual a la tasa libre de riesgo en 6% y más probable del 9%.

3 Resultados

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de viabilidad técnica y económica para el reemplazo de la grúa móvil por grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado. Primero, se aborda el Estudio de Factibilidad Técnica, que examina aspectos clave como el ingreso de trozos, el layout del aserradero, las características de la grúa actual y las posibles ubicaciones para las nuevas grúas. Además, se analizan las causas de intervención de la grúa móvil, la compatibilidad operacional y los requerimientos de personal, complementando el estudio con una simulación realizada en Flexsim para evaluar el rendimiento propuesto. Posteriormente, se presenta una discusión que sintetiza la viabilidad técnica.

El Estudio de Factibilidad Económica se centra en comparar los costos de operación de la grúa móvil frente a los costos de las grúas estacionarias, considerando la inversión inicial, los costos variables y fijos, y los gastos de implementación. También se analizan elementos financieros como la tasa de descuento, la depreciación de los activos, el flujo de caja proyectado y el Costo Anual Equivalente (CAE). Finalmente, se discuten los resultados económicos para determinar la conveniencia financiera del proyecto.

3.1 Estudio de Factibilidad Técnica

En esta sección se presentan los resultados del análisis técnico orientado a evaluar la viabilidad operativa de incorporar grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado. El estudio comienza con el diagnóstico de la zona de ingreso de trozos y un análisis del layout actual, identificando las áreas críticas y los puntos de intervención frecuentes. A continuación, se examina el desempeño de la grúa móvil existente y se contrastan sus características con las grúas estacionarias propuestas, evaluando tanto las causas de intervención como la compatibilidad operacional. También se determina la ubicación óptima para las nuevas grúas dentro del aserradero. Estos análisis se complementan con una simulación en Flexsim para modelar el impacto en la operación general y una evaluación de los requerimientos de personal necesarios para operar bajo el nuevo esquema. La sección concluye con una discusión que sintetiza la factibilidad técnica y sugiere acciones clave para una implementación exitosa.

3.1.1 Zona de Ingreso de Trozos

En esta área, los troncos o trozos de madera se descargan y preparan para los cortes programados y su transformación. Para asegurar el uso eficiente de la madera en el aserradero, el trozo debe ingresar por la punta de diámetro menor, por lo que los trozos se clasifican y son orientados debidamente. Durante este proceso continuo, es común que se produzcan interrupciones que requieren la intervención de una grúa.

Figura 3: Vista Aérea Zona Ingreso de Trozos

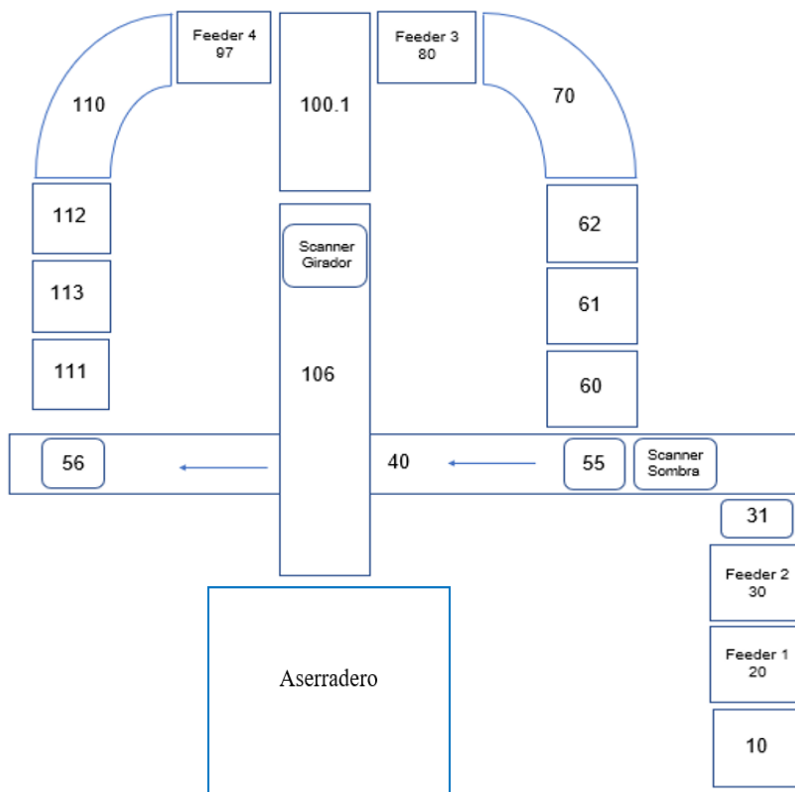


Fuente: Jefe de Mejora Continua El Colorado (26 de enero, 2024)

3.1.2 Layout

Con un plano detallado (layout) de la zona de ingreso de trozos, se destacan las áreas críticas y los puntos de intervención actuales de la grúa móvil. Este paso permite identificar las ubicaciones estratégicas donde las grúas fijas podrían instalarse para optimizar la eficiencia operativa. En Figura 4 se aprecian detalladamente las máquinas involucradas en el proceso de alimentación del aserradero.

Figura 4: Diagrama Zona de Ingreso de Trozos



Fuente: Layout 2.0 de El Colorado por Encargado de Factor operacional y rendimiento (mayo 2024)

Los rollizos que provienen de la zona de descortezado y que fueron previamente clasificados por diámetro son cargados en la mesa de alimentación 10. Luego, el Scanner Sombra se encarga de identificar el lado de la punta más fina del rollizo para poder ser orientado de manera correcta. De esta manera, los rollizos serán transportados hacia los Pateadores 55 o 56 dependiendo de la lectura del Scanner Sombra. Finalmente, los feeder 3 y 4 se encargan de montar los rollizos en la línea principal de producción 100.1.

3.1.3 Grúa actual

La grúa A 924 C Litonic de la marca Liebherr (Grúa Liebherr), tiene un diseño versátil para actividades como la carga y descarga de uno o varios troncos a la vez. Esta grúa es capaz de trasladarse sobre ruedas para encargarse de resolver interrupciones en toda la zona de ingreso de trozos.

Figura 5: Grúa Liebherr



Fuente: Ficha formalización requerimiento Grúa estacionaria ingreso de trozos por jefe de mejora continua (26 de febrero, 2024)

Actualmente, esta grúa es arrendada con un gasto anual aproximado de \$103 millones de pesos lo cual incluye un operador experimentado de grúa, mantenimiento garantizado y reemplazo de grúa en caso de ser necesario.

Figura 6: Especificaciones técnicas Grúa Liebherr

Peso	20.9 t	Neumáticos estándar	11.00-20PR16
Capacidad cuchara	1.15 m ³	Pluma	VA
Soportes	4 2/4-fach	Longitud de transporte	9.6 m
Anchura transporte	2.75 m	Altura de transporte	3.215 m
Max. Alcance lateral	9.6 m	Profundidad de excavación	6 m
Fuerza de rotura	127.5 kN	Ancho cuchara	1.25 m
Model Series	A	Fabr. del motor	Liebherr
Modelo de motor	D934 L	Rendimiento de motor	135 kW
Cilindrada	7 l	Revoluciones	1800 rpm

Fuente: (LECTURA specs, 2024)

3.1.4 Adquisición de Grúas Estacionarias

A continuación, se presentan las grúas estacionarias disponibles, provenientes del cierre de operaciones del Aserradero Horcones II. Se detallan los modelos y las especificaciones técnicas de las grúas estacionarias.

3.1.4.1 Grúa SIGU GE12 – Horcones II

La primera grúa estacionaria que se desea adquirir es una grúa SIGU GE12 (en adelante Grúa SIGU) con capacidad para 1200 kg y alcance de 12 m. Según la marca SIGU, “la serie GE se utiliza principalmente para el ordenamiento ocasional de rollizos en áreas de ingreso de aserraderos, plantas

de trozado y patios de maderas celulosa. Estas grúas son consideradas una alternativa confiable para el manejo de rollizos de madera de diversos diámetros y tipos” (SIGU, 2024).

Figura 7: Grúa SIGU en Horcones II



Fuente: Ficha formalización requerimiento Grúa estacionaria ingreso de trozos por jefe de mejora continua (26 de febrero, 2024)

Tabla 7: Especificaciones Técnicas Grúa SIGU GE12

Alcance horizontal	12 mts
Capacidad de levante brazo estirado	1200 kg
Ángulo de giro	270°
Diámetro Máximo trozo	800 mm
Ángulo de giro de garra	360°
Capacidad de garra	0.25 m ²
Largo máximo de trozo	—
Altura de torre	5 mts

(SIGU, 2024)

Si bien, la grúa tiene capacidad para soportar 1200 kg, su garra solo le permite manipular 1 a 3 rollizos a la vez dependiendo del diámetro.

3.1.4.2 Grúa PALFINGER PK 23500 - Horcones II

La grúa PK 23500 de la marca Palfinger (en adelante Grúa Palfinger) es también una grúa estacionaria que se utiliza para el ordenamiento ocasional de rollizos y tiene una capacidad máxima de 2730 kg

con un alcance de 8 metros de largo. Debido a las características de la garra y la forma de los rollizos, esta grúa solo puede manipular 1 a 3 rollizo a la vez dependiendo del diámetro.

Figura 8: Grúa PALFINGER en Horcones II

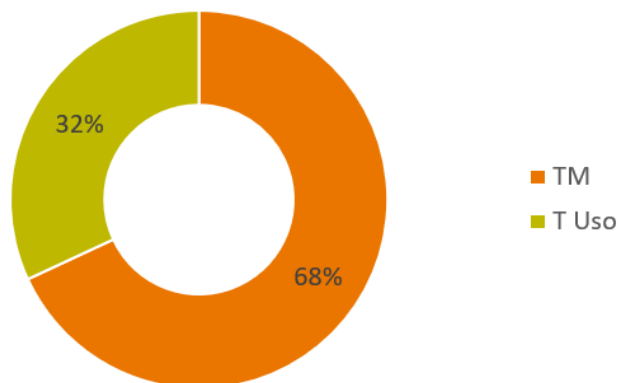


Fuente: Ficha formalización requerimiento Grúa estacionaria ingreso de trozos por jefe de mejora continua (26 de febrero, 2024)

Como se observa de Anexo 1: Rango de Operación Grúa Palfinger PK23500, esta grúa, al igual que la grúa SIGU, tiene una torre que mide 3 metros de altura y es necesario construir una cimentación para su anclaje y fijación. Ambas grúas trabajan con sistema eléctrico e hidráulico y se quiere implementar el uso de mando a distancia.

El registro de intervenciones de la Grúa Liebherr (Anexo 2) ha demostrado que, en promedio, ésta opera un 32% del tiempo del turno, mientras que el otro 68% del tiempo permanece a la espera para ser necesitada. Este bajo porcentaje de utilización de la grúa móvil resalta la necesidad de optimizar el uso de los recursos disponibles. Además, justifica la evaluación de la adquisición de grúas estacionarias, que podrían proporcionar una solución más eficiente y económica.

Figura 9: Tiempo de Uso v/s Tiempo Muerto - Grúa Liebherr



Fuente: Elaboración Propia

3.1.5 Causas de Intervención de Grúa Liebherr

El estudio de la Grúa Liebherr identificó 6 tipos de intervenciones:

Cruzamiento: Se refiere a la situación donde los troncos o rollizos de madera en movimiento se entrelazan o se cruzan entre sí de manera no deseada durante su transporte. El cruzamiento puede causar obstrucciones, bloqueos o interferencias en el flujo de trabajo.

Trozo Quebrado: Se refiere a una pieza de madera que se ha fracturado o roto durante el proceso de manipulación o transporte. Estas fracturas ocurren debido a impactos durante la manipulación, o defectos estructurales previos en la madera. Estas pueden generar problemas en la línea de producción y deben ser retiradas oportunamente.

Alimentación Directa: Los rollizos de madera con diámetros de 14 cm a 20 cm deben ser introducidos a una velocidad de producción (ritmo) de 21 trozos por minuto, lo cual supera la capacidad de los transportadores existentes. La grúa proporciona apoyo al transportar y posicionar los rollizos de manera precisa y oportuna, permitiendo mantener el ritmo de producción requerido y evitar cuellos de botella en la línea de procesamiento.

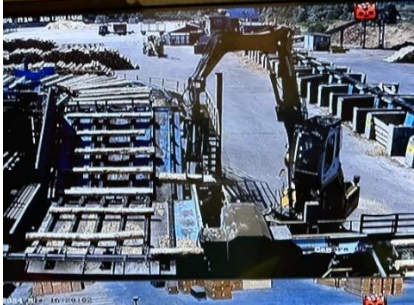

Descarga de Rollizos: Se refiere al proceso de retirar o remover los rollizos sobrantes de la mesa de alimentación (máquina 10) al finalizar un programa de producción en el aserradero. Esta situación ocurre cuando quedan rollizos en la mesa de alimentación que no han sido utilizados o procesados durante el ciclo de producción. La tarea de descargar los rollizos puede ser realizada por una grúa u otro equipo especializado, como cargadores frontales.

Falla Mecánica: La falla mecánica se refiere a la avería o mal funcionamiento de un equipo en la zona de ingreso de trozos del aserradero, lo que puede requerir detener la línea de producción para realizar reparaciones o mantenimiento. Cuando ocurre una falla mecánica que amenaza con detener la línea de producción, la Grúa Liebherr tiene la capacidad de intervenir para mantener el flujo de trabajo. En este contexto, la Grúa Liebherr puede asumir la tarea de alimentar directamente el aserradero, incluso a una velocidad de hasta 22 trozos por minuto. Esto significa que la grúa puede transportar y posicionar los trozos de madera de manera eficiente y continua, asegurando que la producción no se detenga debido a la falla mecánica de otro equipo. La capacidad de la grúa Liebherr para intervenir en casos de falla mecánica representa una estrategia importante para minimizar el

tiempo de inactividad y maximizar la productividad en el aserradero, garantizando un flujo constante de material incluso cuando surgen problemas técnicos inesperados.

Ø Distinto: Se refiere a la situación en la que se encuentra un rollizo con un diámetro diferente al requerido según el programa de producción en curso. En este caso, es necesario retirar este rollizo de la línea de producción para asegurar que solo los rollizos con las especificaciones correctas sean procesados según lo planeado.

Tabla 8: Intervenciones Grúa Liebherr

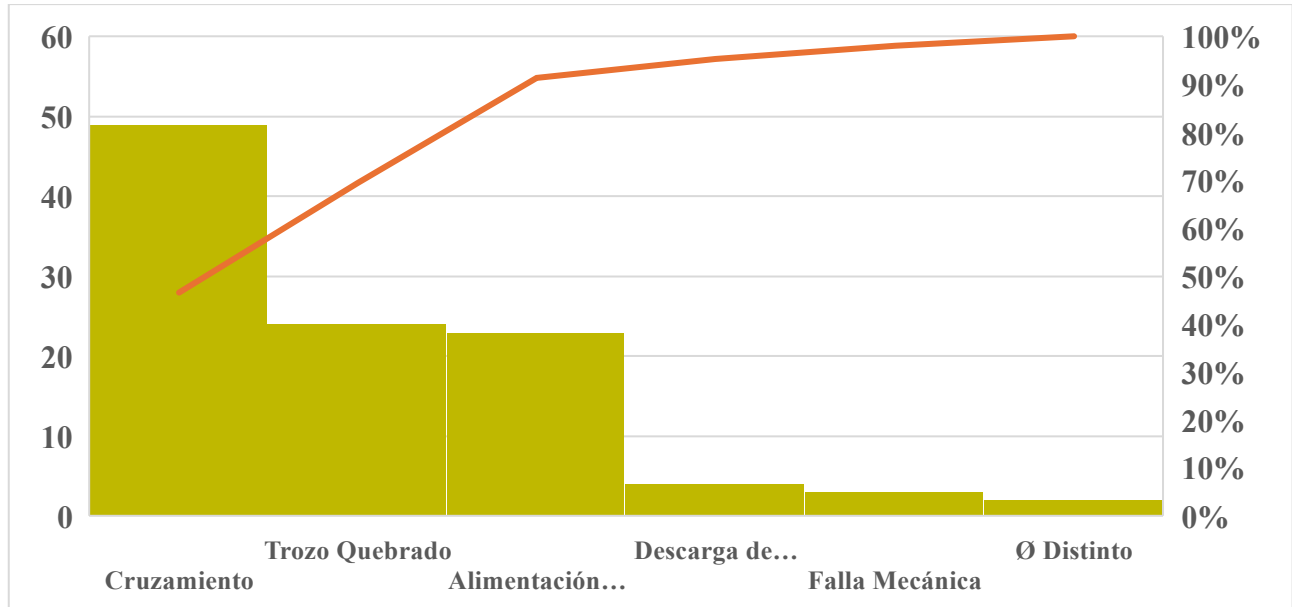
<p>Imagen 1: Grúa Liebherr retira Trozo Quebrado</p>	
<p>Imagen 2: Cruzamiento de rollizo en Feeder 1</p>	
<p>Imagen 3: Grúa Liebherr Alimentando el Aserradero debido a Falla Mecánica en Feeders 3 y 4 3 y 4</p>	

Fuente: Elaboración propia

Este estudio de las funcionalidades de la Grúa Liebherr también ha demostrado las tendencias de interrupciones que ocurren en la zona de ingreso de trozos. El diagrama de Pareto de la muestra que las intervenciones más recurrentes que debe ejecutar la Grúa Liebherr se deben en el 80% al cruzamiento de rollizos y trozos quebrados. En menor medida se observan los casos de Ø Distinto,

Falla Mecánica y Descarga de Rollizos. Es por esto, que las grúas estacionarias deberán enfocarse especialmente en resolver interrupciones de cruzamiento y trozos quebrados.

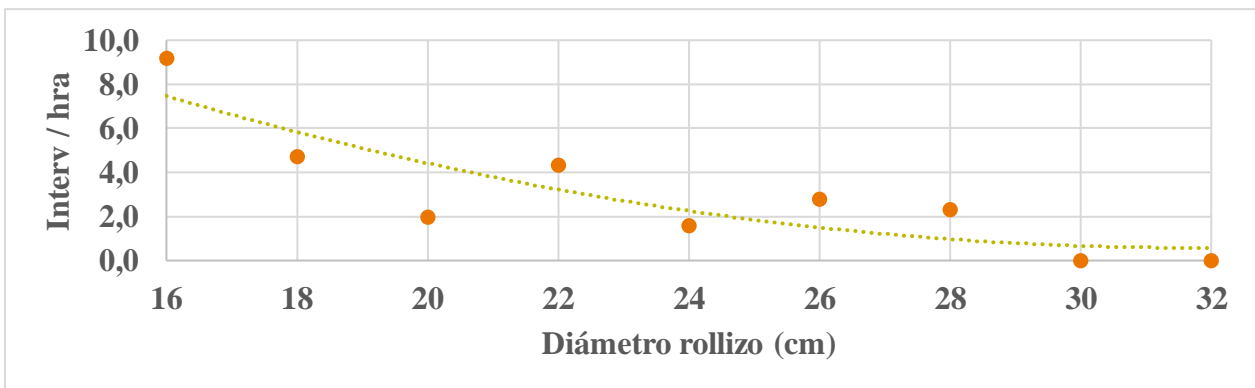
Figura 10: Cantidad de Intervenciones según tipo de Causa



Fuente: Elaboración Propia

En Figura 11, se observa una clara tendencia marcada por la mayor cantidad de intervenciones de la grúa Liebherr en los rollizos de diámetros menores en comparación a los de mayor diámetro. Los diámetros de 16 cm llegan a tener en promedio casi 10 intervenciones cada hora, mientras que las de diámetros de 32 cm son prácticamente nulas. De este modo, es importante enfocar y prestar mayor atención al uso de las grúas estacionarias en programas de producción con diámetros de rollizos pequeños.

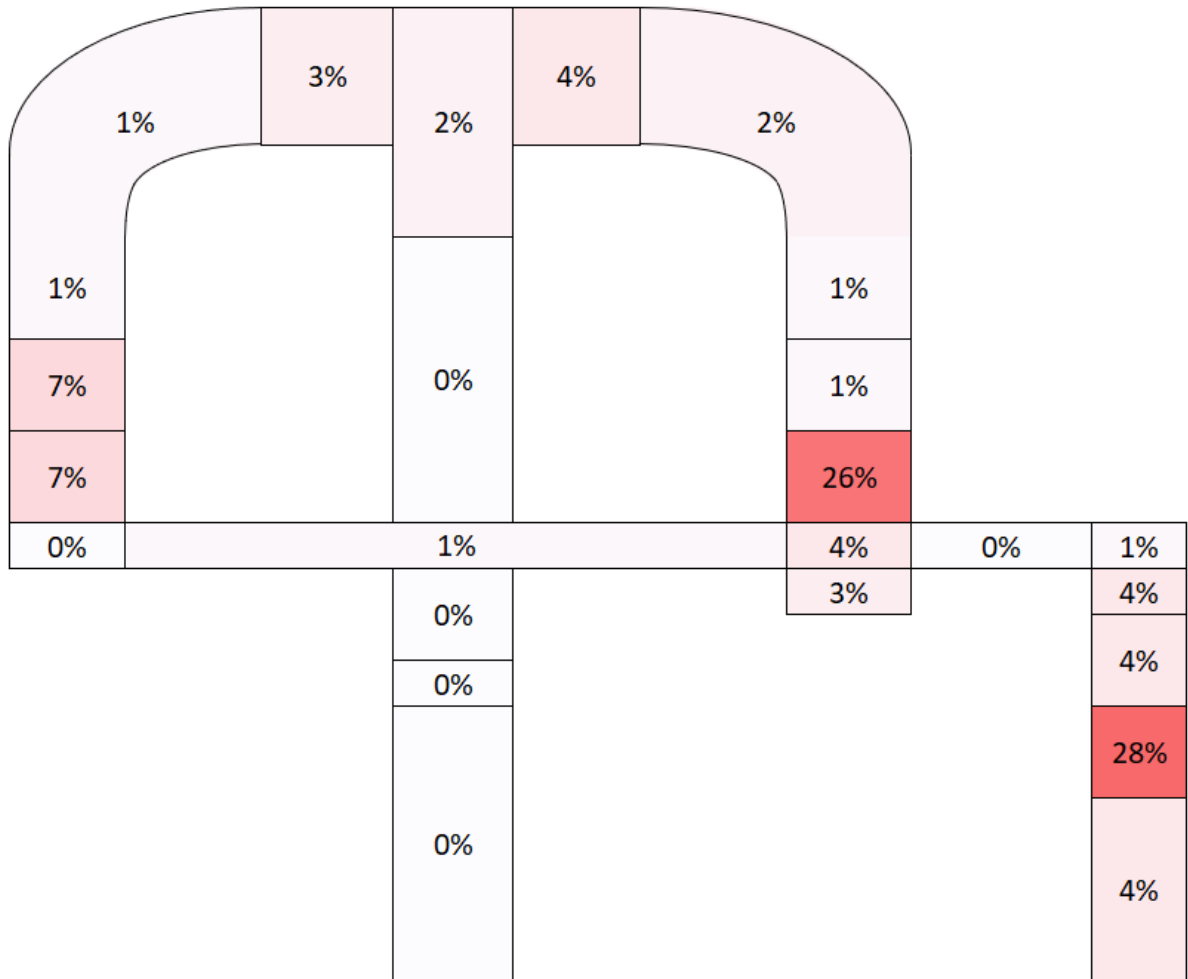
Figura 11: Tasa de Intervenciones por Diámetro de Rollizo



Fuente: Elaboración Propia

En Figura 12 se observan las máquinas de la zona de ingreso de trozos donde se concentran las interrupciones que obligan la intervención de la Grúa Liebherr. Si bien las interrupciones ocurren en casi todas las máquinas, la mayoría de estas se concentran en el Feeder 1 (máquina 20) con 28%, mesa plana (máquina 60) con 26% y mesa plana (máquina 111) con 7%. Por lo tanto, se debe poner especial énfasis en estas áreas para el uso de las grúas estacionarias.

Figura 12: Porcentaje de Intervenciones de grúa por máquina

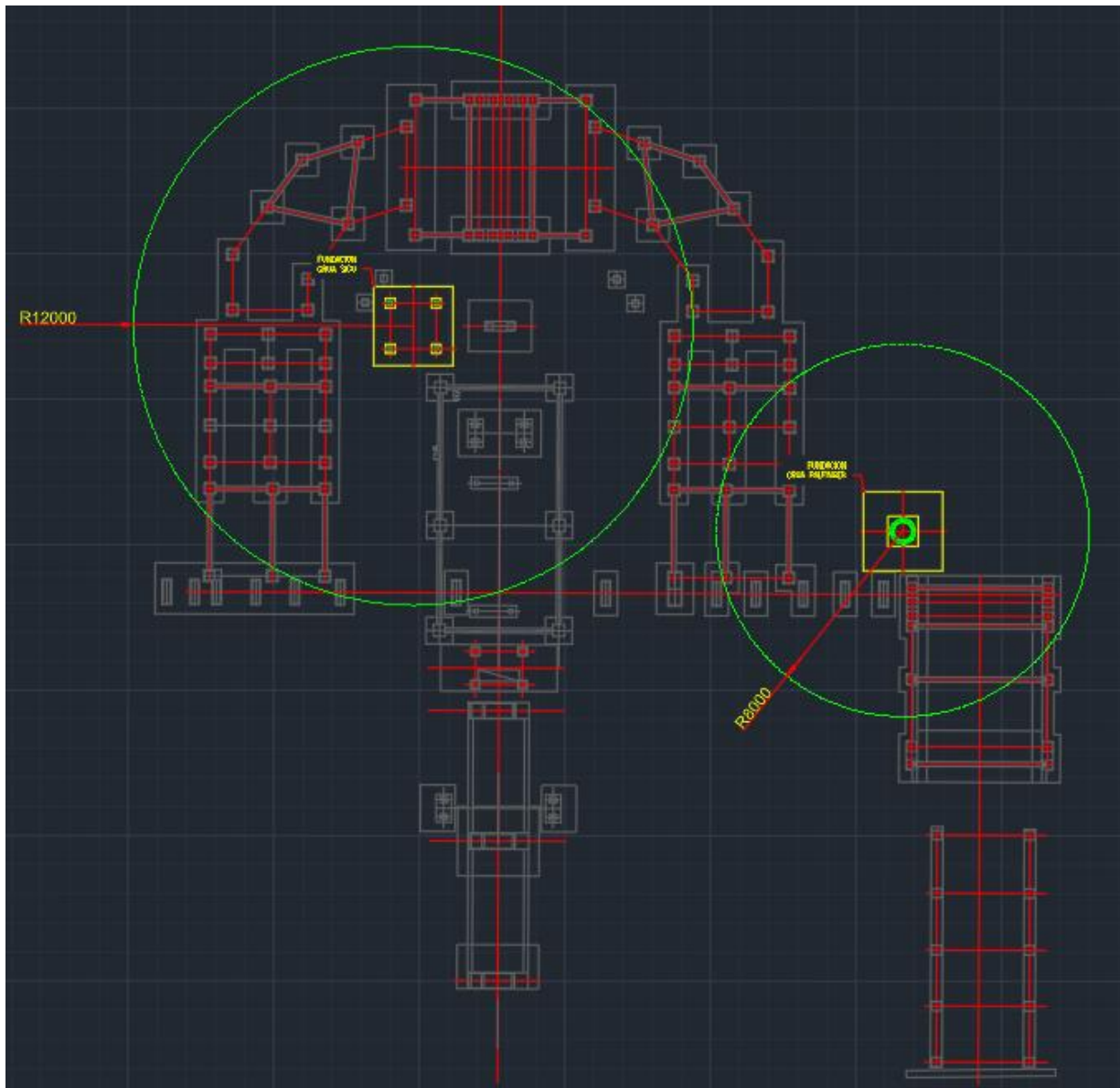


Fuente: Elaboración Propia

3.1.6 Ubicación Factible para las Grúas Estacionarias

Las ubicaciones factibles para las grúas estacionarias en la zona de ingreso de trozos del aserradero se centran en áreas específicas debido a los requerimientos operativos y la frecuencia de interrupciones. Se propone el siguiente posicionamiento para las grúas como se muestra en Figura 13.

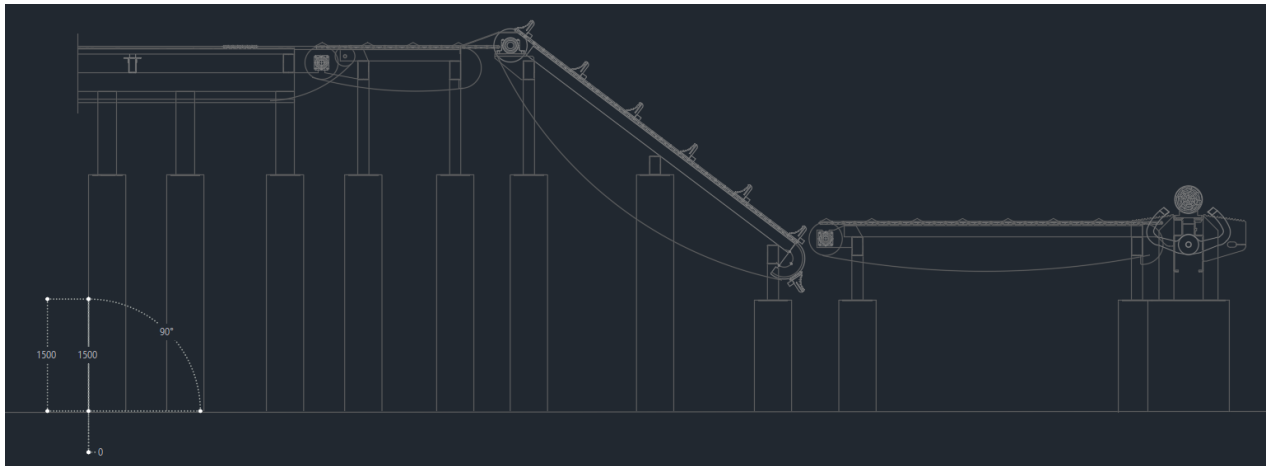
Figura 13: Propuesta de Ubicación para Grúas Estacionarias



- Fuente: Elaboración Propia en base a planos de Arauco proporcionado por Jefe de mejora continua (4 de abril, 2024)
- Grúa SIGU con alcance de 12 metros (lado derecho del aserradero): Esta grúa se ubicará en el lado derecho del aserradero para intervenir en las zonas de Feeder 3, Feeder 4 y la mesa 111, siendo estas, las zonas donde más se generan interrupciones. El alcance de 12 metros permitirá a esta grúa alcanzar eficazmente diferentes áreas donde se producen interrupciones de rollizos.
- Grúa Palfinger con alcance de 8 metros (lado izquierdo del aserradero): La grúa Palfinger se ubicará en el lado izquierdo de la zona de ingreso del aserradero. Con un brazo de 8 metros, esta grúa podrá alcanzar el Feeder 1 y la mesa plana 60, donde también se requiere intervención.

Estas ubicaciones estratégicas permitirán a las grúas estacionarias intervenir de manera efectiva en las áreas críticas donde se producen los cruzamientos frecuentes de rollizos. Al distribuir las grúas de esta manera en el aserradero, se optimiza la capacidad de respuesta y se minimizan las interrupciones durante las operaciones de procesamiento de la madera.

Figura 14: Vista Lateral Zona de Ingreso de Trozos



Fuente: Jefe de mejora continua (4 de abril, 2024)

Debido a que las grúas estacionarias operan a 3 metros sobre su base, la cimentación para ambas grúas se deberá construir entre 1 y 1,5 metros de altura, de esta manera, la grúa alcanzará la altura de las mesas transportadoras que se encuentran a 5 metros de altura sobre el suelo. Respecto a las dimensiones de la cimentación, se propone 3,4 metros de ancho y 3,4 metros largo, las cuales son medidas tomadas en estudios anteriores, sin embargo, será necesario el estudio de obras civiles.

3.1.7 Compatibilidad Operacional

En estas posiciones, las grúas pueden alcanzar prácticamente todas las máquinas, a excepción de la mesa de alimentación (máquina 10). En el caso de cruzamiento de rollizos, trozos quebrados y rollizos de diámetro distinto, las grúas estacionarias no tienen problema en manipular y resolver estas interrupciones debido a su garra de gran precisión.

En el caso de intervenciones por *Alimentación Directa* y *Falla Mecánica*, las grúas estacionarias fallan en realizar tal labor, esto debido a que sus características no permiten manipular más de un rollizo a la vez. Como las grúas no tienen el alcance suficiente para llegar a la mesa de alimentación (máquina 10), la función de Descarga de Rollizos tampoco será cubierta.

Tabla 9: Comparación Funcionalidades Grúa Liebherr v/s Grúas Estacionarias

	Grúa Liebherr	Grúa SIGU / Grúa PALFINGER
Cruzamiento	✓	✓
Trozo Quebrado	✓	✓
Alimentación Directa	✓	X
Descarga de Rollizos	✓	X
Falla Mecánica	✓	X
Ø Distinto	✓	✓

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, debido a las características y especificaciones técnicas de las grúas estacionarias SIGU y Palfinger, éstas serán capaces de abordar tres de los seis tipos de intervenciones realizadas por la Grúa Liebherr.

Como se muestra en Tabla 9, son 3 funciones que perderá el aserradero al adquirir las grúas estacionarias: *Alimentación Directa*, *Descarga de Rollizos* y *Falla Mecánica*. Esta pérdida en las funciones tiene impacto en el desempeño del aserradero.

3.1.7.1 Descarga de Rollizos

La Descarga de Rollizos es una responsabilidad comúnmente realizada por los cargadores frontales en la mesa de alimentación (máquina 10). Por lo tanto, es posible descartar esta funcionalidad en las grúas estacionarias sin repercusión de desempeño del aserradero.

3.1.7.2 Falla Mecánica

En caso de falla mecánica en la zona de ingreso de trozos, las grúas estacionarias no podrían mantener la producción constante a diferencia de la Grúa Liebherr. Cada hora detenida del aserradero se evalúa en 15K USD según datos entregados por El Colorado. La recomendación es mantener los equipos en buen estado realizando mantenciones preventivas periódicas.

3.1.7.3 Alimentación Directa

La Grúa Liebherr se encarga de aumentar el ritmo del aserradero desde los 19 a 21 trozos/min que se exige en ciertos programas de producción. Esto ocurre debido a limitaciones en las características de potencia en los feeder 1 y 2. El Colorado actualmente está trabajando para aumentar la velocidad de operación de los feeders para alcanzar un ritmo de 21 trozos/min.

No aumentar su velocidad, podría traer consecuencias negativas en la producción del aserradero y, por lo tanto, pérdidas económicas.

3.1.8 Simulación Flexsim

Los resultados obtenidos a partir de la simulación en Flexsim destacan la importancia de considerar tanto la configuración operativa actual como los ajustes necesarios para optimizar la producción al incorporar nuevas tecnologías en el Aserradero El Colorado. En la simulación, se modelaron diversos escenarios que incluyeron la operación actual con la grúa móvil Liebherr, la incorporación de grúas estacionarias sin ajustes adicionales, y la incorporación de estas mismas grúas con un ajuste de velocidad en los feeders. Los resultados permiten identificar las diferencias en términos de producción y la magnitud de las pérdidas o ganancias asociadas con cada opción. En particular, se observan pérdidas significativas en la producción al transitar hacia un modelo con grúas estacionarias sin los ajustes necesarios, lo cual podría impactar gravemente los ingresos del aserradero. Sin embargo, al implementar estos ajustes, la producción se mantiene estable, destacando la importancia de optimizar los procesos para garantizar la viabilidad técnica y económica de la nueva implementación.

Tabla 10: Resultados Simulación

Escenario	Producción (Rollizos/hora)
A1	1.262
A2	889
B1	1.066
B2	894
C1	1.256
C2	894

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Comparación Escenarios

Escenarios	Pérdida Producción (Comparación con A)
B	-9%
C	0%

Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las comparaciones de producción de los escenarios da como resultado una pérdida en el caso de transicionar de A1 a B1. Es decir, al retirar la grúa Liebherr e implementar las grúas estacionarias sin un ajuste de velocidad de los feeders 1 y 2 se estaría perdiendo un 16% de producción en programas de producción de diámetros de entre 14cm a 20cm.

En el caso de un cambio del escenario A1 a B1 (se implementan las grúas estacionarias sin ajustar los feeders), la producción disminuiría un 16% en los programas de 14cm a 16cm. Esto se traduce en una pérdida mensual de 2.143 m³ reales de madera aserrada valorados en \$299.702.811. Sin embargo, el cambio desde A1 a C1 (se implementan las grúas estacionarias y se ajustan los feeders) presenta una variación del 0%, es decir, se mantienen las mismas condiciones en producción.

En el caso de los diámetros mayores a 20cm, las variaciones de producción en los distintos escenarios se mantienen iguales, es decir, no existe pérdida de producción. Las estimaciones de producciones anuales son:

Tabla 12: Estimación de Producción Anual a partir de resultados de simulación Flexsim

Escenarios	Producción anual (m ³)
A	283.884
B	258.168
C	283.884

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, si el aserradero El Colorado implementa las grúas Estacionarias sin aumentar la velocidad de los feeders 1 y 2 hasta los 21 trozos/min, podría potencialmente perder cerca de \$300 millones mensualmente en ventas por la disminución de producción en rollizos de diámetros de 14cm a 20cm.

3.1.9 Requerimientos del Personal

Para garantizar la operación eficiente y segura de las grúas estacionarias con mando a distancia en el Aserradero El Colorado, es fundamental definir claramente los requerimientos y responsabilidades del operador. La persona encargada de esta tarea es identificada como Alfa 7. El cargo Alfa 7 es un puesto versátil y multifuncional dentro del aserradero, diseñado para actuar como un comodín y cubrir diferentes roles según las necesidades operativas. Este puesto es esencial para garantizar la continuidad y eficiencia de las operaciones diarias, ya que proporciona flexibilidad y apoyo en diversas áreas. Es por esto por lo que se le designará la responsabilidad de operar las grúas estacionarias. Para ello, deberá ser capacitado y cumplir con los siguientes requisitos.

Conocimientos Técnicos: El operador debe poseer un conocimiento profundo del funcionamiento de las grúas estacionarias, incluyendo sus especificaciones técnicas, capacidades operativas. Es esencial que Alfa 7 comprenda los procesos operativos del aserradero y la integración de las grúas en la zona de ingreso de trozos, permitiéndole tomar decisiones informadas y efectivas durante su operación.

Habilidades de Comunicación: Debe tener excelentes habilidades de comunicación para coordinar con otros miembros del equipo del aserradero, especialmente en situaciones que requieran intervención inmediata. Debe ser capaz de informar claramente sobre el estado de las operaciones, cualquier problema identificado y las acciones correctivas tomadas o necesarias.

Capacidad de Toma de Decisiones: El operador debe tener la capacidad de tomar decisiones rápidas y efectivas en caso de interrupciones en el proceso de alimentación de troncos. Esto incluye la identificación de la causa del problema, la evaluación de posibles soluciones y la implementación de la acción correctiva más adecuada. Debe estar familiarizado con los protocolos de contingencia y saber cuándo escalar un problema a niveles superiores de gestión.

Formación y Capacitación: El operador, visualizará las interrupciones en el proceso de alimentación de troncos desde la sala de operaciones del aserradero. Esta ubicación debe contar con todos los equipos y sistemas necesarios para monitorear en tiempo real el funcionamiento de las grúas y el flujo de troncos por lo que deberá recibir una formación exhaustiva en el uso de las grúas estacionarias con mando a distancia. Esta capacitación debe incluir tanto aspectos técnicos del manejo del equipo como

protocolos de seguridad y procedimientos de respuesta ante emergencias. Debe estar capacitado en el uso de los sistemas de monitoreo y control instalados en la sala de operaciones, asegurando que pueda identificar y responder rápidamente a cualquier interrupción o anomalía en el proceso.

La sala de operaciones debe estar equipada con todos los sistemas de monitoreo y control necesarios para permitir una operación remota eficiente de las grúas. Esto incluye pantallas de visualización, sistemas de alerta y comunicación, y controles de mando a distancia.

3.1.10 Discusión Factibilidad Técnica

La evaluación de la factibilidad técnica para la implementación de grúas fijas en la zona de ingreso de trozos del aserradero ha demostrado que esta solución es factible para la operación del aserradero. Los análisis realizados y las observaciones sobre el funcionamiento actual de la grúa móvil indican que la introducción de grúas estacionarias puede contener las interrupciones en la línea de producción y reemplazar las funciones de la grúa móvil.

La grúa Liebherr está en funcionamiento solamente durante el 32% del tiempo, lo que significa que permanece estacionada sin actividad durante el 68% del tiempo, esperando ser requerida. Este bajo porcentaje de utilización de la grúa móvil resalta la necesidad de optimizar el uso de los recursos disponibles.

Las principales causas de intervención están relacionadas con el cruzamiento de rollizos y trozos quebrados, especialmente en diámetros de 14 cm a 20 cm y las áreas del aserradero donde ocurren más intervenciones son la mesa transportadora plana izquierda (máquina 60), la mesa transportadora plana derecha (máquina 111) y el feeder 1 (máquina 20).

La grúa SIGU, con un alcance de 12 metros, y la grúa Palfinger, con un alcance de 8 metros, cubrirán de manera efectiva las áreas críticas del aserradero. La grúa SIGU se ubicará en el lado derecho para atender feeders 3, 4 y mesa 111, mientras que la grúa Palfinger se ubicará en el lado izquierdo para alcanzar feeder 1 y mesa plana 60.

Para que la introducción de las grúas estacionarias no tenga repercusiones en el desempeño del aserradero, se recomienda mantener los equipos de la zona de ingreso de trozos en buen estado, realizando mantenciones preventivas periódicas y asegurar un ritmo de 21 trozos/min en los Feeders 1 y 2. De lo contrario, el aserradero podría perder potencialmente \$300 millones mensuales en ingresos por pérdida de producción.

3.2 Estudio de Factibilidad Económica

En esta sección se examina la viabilidad económica del proyecto de sustitución de la grúa móvil por grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado. El análisis comienza con la evaluación de los costos asociados a la operación y mantenimiento de la grúa Liebherr en comparación con las grúas estacionarias propuestas. Se desglosa la inversión inicial, considerando los activos fijos y los gastos de implementación, y se detallan los costos fijos y variables que impactan el flujo de caja proyectado. También se incluyen cálculos sobre la depreciación de los activos y la tasa de descuento utilizada para valorar el proyecto. Finalmente, se presentan los resultados del análisis económico, enfocados en indicadores como el Costo Anual Equivalente (CAE) y el flujo de caja, lo que permite determinar la rentabilidad esperada del proyecto. Esta sección ofrece una visión clara sobre el impacto financiero del cambio propuesto y facilita la toma de decisiones informadas.

3.2.1 Costos Grúa Liebherr

La estructura de costos de la grúa Liebherr se distribuye entre costos fijos y variables. Los costos fijos corresponden al arriendo de la grúa, incluyendo mantenimiento, operador y una grúa de repuesto en caso de fallas. Los costos variables se cobran por horómetro, a aproximadamente \$35.000 por hora, incluyendo el combustible. Aunque el arriendo de esta grúa ofrece grandes beneficios en términos de facilidades, en promedio se paga alrededor de \$8,5 millones al mes.

A continuación, en Tabla 13, se detallan los datos proporcionados de los costos de la grúa Liebherr correspondientes al año 2023.

Tabla 13: Estructura de Costos (pesos) Grúa Liebherr 2023

Costo Fijo Total (CFT)	\$44.400.000
Costo Variable Total (CVT)	\$58.600.000
Costo Total Anual (CTA)	\$103.000.000

Fuente: Ingeniero Control Gestión Plantas Maderas (3 de abril, 2024)

Donde:

$$CTA = CFT + CVT$$

3.2.2 Costos Grúas Estacionarias

Debido a que las grúas SIGU y Palfinger provienen desde Horcones II, no hay costo de adquisición, ya que es una transferencia de activos interna. Sin embargo, se deberá considerar los

costos de montaje, desmontaje y transporte de las grúas, además de sistema de visualización, mando a distancia, conexión eléctrico e hidráulico y cimentación para grúas.

3.2.3 Inversión Inicial

Para llevar a cabo la implementación de las 2 grúas estacionarias, se requerirá una inversión inicial que contemplará varios aspectos fundamentales.

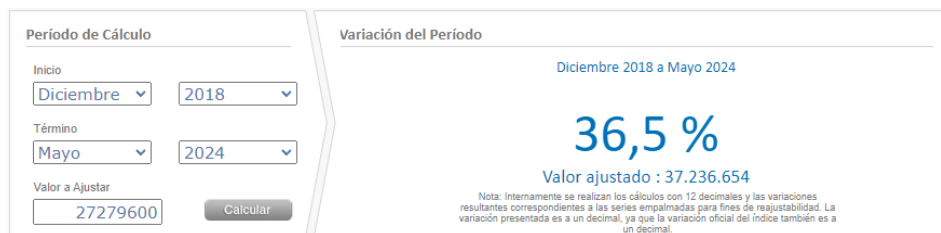
3.2.4 Activos Fijos

Costo de las Grúas: Las grúas mismas no implican un costo adicional, dado que serán transferidas desde Horcones II, lo cual representa un ahorro considerable en la inversión inicial.

Obras Civiles y eléctricos: Se refiere a la construcción de los cimientos necesarios para asegurar la estabilidad y el funcionamiento seguro de las grúas. Abarca la instalación de las conexiones necesarias para el suministro eléctrico y la operación hidráulica: Unidad hidráulica/eléctrica de potencia trifásica, estanque hidráulico y tablero eléctrico a los pies de la grúa.

Se estima el costo de este trabajo utilizando datos históricos de El Colorado. En 2018 se realizó la construcción de cimientos con trabajo de obras civiles, eléctrico y estructuras metálicas para una grúa estacionaria en la zona de descortezado, el cual tuvo un costo de \$40.000 USD. En ese periodo, según el Servicio de Impuestos Internos (SII) el dólar observado en diciembre de 2018 fue en promedio de \$681,99. Es decir, la obra tuvo un costo de $\frac{\$}{USD} 681,99 \cdot \$40.000 \text{ USD} = \$27.279.600$ pesos chilenos. Según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE) la variación del IPC desde diciembre de 2018 a la fecha actual (junio 2024) fue de 36,5%.

Figura 15: Cálculo Variación IPC diciembre 2018 a mayo 2024



Fuente: INE

De esta manera:

$$\text{Costo ajustado por inflación} = \$27.279.600 \cdot (1 + 0,365) = \$37.236.654$$

$$\text{Costo para ambas grúas} = \$37.248.054 \cdot 2 = \$74.496.108$$

Por lo tanto, el costo total de las obras civiles y eléctricos para ambas grúas es de \$74.496.108 pesos.

Sistema de Visualización: Incluye la adquisición e instalación de un sistema compuesto por 2 cámaras de uso industrial para grúas y dos monitores, diseñado para proporcionar una visualización clara y detallada de las operaciones de las grúas desde la sala de operaciones.

Figura 16: Sistema de Cámara Inalámbrica Profesional



1.432,00€

Fuente: (AbonirGrupo, 2024)

Tiene clasificación IP69K, lo que significa que puede colocarse al aire libre expuesto a la intemperie, incluye Monitor de 7" (HD) de alta resistencia intuitivo, batería con 30-35 horas de vida útil y cámara infrarroja inalámbrica (AbonirGrupo, 2024). Cada sistema de visualización tiene un costo de 1.432 € euros que equivalen a \$1.449.888 pesos.

$$\text{Costo total} = \text{Costo por grúa} \times \text{Número de grúas}$$

$$\text{Costo total} = \$1.449.888 \times 2 = \$2.899.776$$

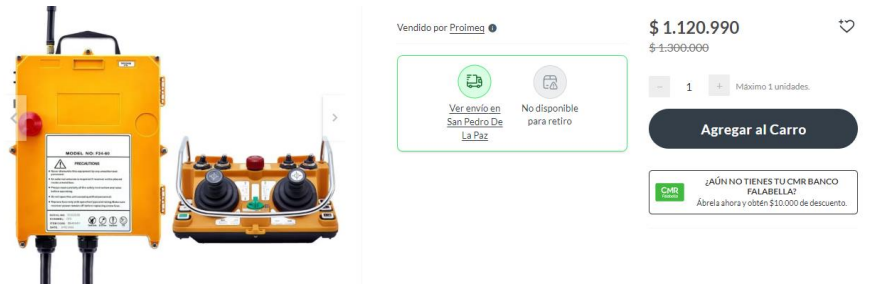
Por lo tanto, el costo total de adquirir ambos sistemas de visualización industrial para las grúas estacionarias será de \$2.899.776.

Mandos a Distancia Inalámbricos: Estos dispositivos permitirán el control remoto de las grúas desde la sala de operaciones, mejorando la eficiencia y la seguridad durante las operaciones.

El radiocontrol inalámbrico TXRX F24-60 es ideal para el control de las grúas estacionarias ya que contiene múltiples canales y botones configurables, adaptable para controlar diferentes funciones específicas de la grúa según las necesidades del operador.

Además, ofrece un alcance de hasta 100 metros con una comunicación fiable entre el transmisor y el receptor (Falabella, 2024). De esta manera, se facilita la operación desde una posición segura, fuera del área de trabajo directa de la grúa, reduciendo el riesgo de accidentes y lesiones.

Figura 17: Radiocontrol inalámbrico TXRX F24-60



Fuente: Falabella.com

El precio de cada radiocontrol inalámbrico TXRX F24-60 es de \$1.120.990 pesos. Dado que se necesitarán 2 unidades por cada grúa, podemos calcular el costo total de los radiocontroles para las grúas estacionarias:

$$\text{Costo total por grúa} = \text{Precio por unidad} \times \text{Número de unidades por grúa}$$

$$\text{Costo total por grúa} = 1.120.990 \times 2 = \$2.241.980$$

Por lo tanto, el costo total estimado para adquirir los radiocontroles necesarios para las grúas estacionarias sería de \$2.241.980.

3.2.5 Gastos de implementación

Transporte: Incluye los gastos asociados con el transporte seguro de las grúas desde su ubicación actual (Horcones II) en Arauco hasta la planta El Colorado en Curanilahue.

Figura 18: Recorrido desde Horcones II hasta El Colorado



Fuente: Google Maps (2024)

Tomando como referencia el Generador de Precios de CYPE Ingenieros S.A. Chile, se puede estimar el costo del transporte de las grúas estacionarias de la siguiente manera:

- Costo transporte grúa torre con flecha de 25 metros: \$859.148 (CYPE Ingenieros S.A., 2024)
- Número de grúas a transportar: 2

Para calcular el costo total del transporte:

$$\text{Costo total} = \text{Costo por grúa} \times \text{Número de grúas}$$

Entonces:

$$\text{Costo total} = \$859.148 \times 2 = \$1.718.296$$

Por lo tanto, el costo estimado del transporte para las dos grúas estacionarias sería \$1.718.296 pesos.

Desmontaje y montaje:

Tomando nuevamente como referencia los precios de CYPE para el costo de desmontaje y montaje de una grúa torre de flecha de 25 metros, podemos calcular el costo total para desmontar y montar las grúas SIGU y Palfinger de la siguiente manera:

- **Costo de montaje y desmontaje de una grúa torre:** \$2.151.442 (CYPE Ingenieros S.A., 2024)
- **Número de grúas:** 2

Para calcular el costo total:

$$\text{Costo total} = \text{Costo por grúa} \cdot \text{Número de grúas}$$

Entonces:

$$\text{Costo total} = 2.151.442 \times 2 = 4.302.884\$$$

Por lo tanto, el costo estimado para el desmontaje y montaje de las grúas SIGU y Palfinger sería \$4.302.884 pesos.

3.2.6 Cálculo de la Inversión Inicial

Para calcular el total de inversión para el proyecto, se suman todos los costos individuales de cada componente de la siguiente manera:

- + Costo de Obras Civiles y Eléctricas
- + Costo del Sistema de Visualización
- + Costo de Mandos a Distancia
- + Costo de Transporte
- + Costo de Desmontaje y Montaje
- = Total Inversión

Tabla 14: Inversión Total del Proyecto

Grúas Estacionarias	\$	-
Obras Civiles y Eléctricos	\$	74.473.308
Sistema visualización	\$	2.899.776
Mandos a Distancia	\$	2.241.980
Transporte	\$	3.436.592
Desmontaje y Montaje	\$	4.302.884
Total Inversión	\$	87.354.540

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el total de inversión para este proyecto es \$87.354.540 pesos.

3.2.7 Costos Variables

De los costos variables para las grúas estacionarias está el consumo eléctrico. Se estima el consumo tomando como referencia la grúa hidráulica H25 con características muy similares por su capacidad de carga máxima de 1.800 kg y consumo eléctrico de 5,5 kW.

Figura 19: Grúa torre SELF-ERECTING Hidráulica H 25



Fuente: (SAÉZ Cranes, 2022)

De la Figura 1 se observa que la grúa Liebherr opera aproximadamente el 32% turno. Como las grúas estacionarias solo intervendrán en caso de interrupciones por rollizos cruzados, de diámetro distinto y trozos quebrados, este porcentaje de tiempo disminuirá considerablemente. Además, en promedio, El Colorado dispone de aproximadamente 3.360 horas de trabajo anuales. Según SASIPA, la tarifa eléctrica industrial se encuentra en 394,05\$/kW en enero de 2024 (SASIPA, 2024). Se estimará el consumo eléctrico considerando que ambas grúas operarán solo el 10% del tiempo:

$$\text{Consumo eléctrico anual} = 5,5 \text{ kW} \cdot 336 \text{ horas} = 1.848 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo total consumo eléctrico anual} = 1.848 \text{ kWh} \times 394,05 \frac{\$}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo total consumo eléctrico anual} = \$728.204$$

El costo total anual del consumo eléctrico para las grúas estacionarias, considerando que operan solo el 10% del tiempo (336 horas anuales) y con una tarifa de 394,05 \$/kWh, es de \$728.204. Por lo tanto, el costo variable total anual será de \$728.204 pesos.

3.2.8 Costos Fijos

Los costos fijos de las grúas estacionarias incluyen un peritaje anual para cada una. El peritaje incluye lo siguiente:

- Peritaje estructural de equipo
- Calibración de presiones hidráulicas y velocidades
- Chequeo de líneas hidráulicas
- Revisión de sistemas de lubricación
- Revisión de juego tornamesa
- Chequeo de garra

- Chequeo central hidráulica
- Revisión de sistema electro control
- Emisión de informe y recomendaciones

En 2020 el costo de peritaje de esta grúa fue de \$2.950.000. El valor ajustado que utiliza la calculadora de IPC del INE es de \$3.796.650 con una variación de 28,7 %. Calculando el valor para ambas grúas estacionarias:

$$\text{Costo Fijo Total} = \text{Costo peritaje por grúa} \cdot \text{Número de grúas}$$

$$\text{Costo Fijo Total} = \$7.593.300$$

Por lo tanto, el costo fijo total es de \$7.593.300 pesos.

3.2.9 Incremental

Tabla 15: Incremental del Proyecto de Grúas Estacionarias

	Grúa Liebherr (año 2023)	Grúas Estacionarias	Incremental
Costo Fijo Total	\$44.400.000	\$7.593.300	\$36.806.700
Costos variables totales	\$58.600.000	\$728.204	\$57.871.796
Costo Total Anual	\$103.000.000	\$8.321.504	\$94.678.496

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, se puede concluir que, luego de introducir las grúas estacionarias y retirar la Grúa Liebherr, anualmente se ahorraría un estimado de \$94.678.496 pesos en costos.

3.2.10 Tasa de descuento

Se calculó la tasa de descuento utilizando datos disponibles internet. Se consideró el bono banco central (5 años) como tasa libre de riesgo en 5,75% al 11 de julio 2024 según datos del Banco Central de Chile. Según datos históricos recopilados por Damodaran (actualizado en enero de 2024), la prima de riesgo en Chile está en un 5,4%, es decir, se consideró la tasa de mercado en 11% y, por otro lado, el coeficiente beta desapalancado para productos forestales está en 0,6. El resultado fue una tasa de descuento del 8,99%, prácticamente el mismo que utiliza Arauco en 9% para la evaluación de proyectos en sus Aserraderos.

3.2.11 Depreciación de los activos

Tabla 16: Depreciación de los activos fijos

Activos	Costo	Vida útil (años)	Valor Salvamento	Depreciación anual	Valor libro (5 años)
Obras Civiles y Eléctricos	\$74.473.308	80	\$4.654.582	\$930.916	\$69.818.726
Sistema visualización	\$2.899.776	10	\$1.449.888	\$289.978	\$1.449.888
Mandos a Distancia	\$2.241.980	7	\$1.601.414	\$320.283	\$640.566
Total	\$79.615.064		\$7.705.884	\$1.541.177	\$71.909.180

Fuente: Elaboración Propia

Al final del horizonte de evaluación (5 años), se liquidan los activos para efectos de evaluar el flujo de caja puro, es decir, los activos tendrán un valor de deshecho igual al valor libro luego de los 5 años.

3.2.12 Flujo de caja

Se realizó el flujo incremental comparando el escenario inicial (A) con los escenarios B y C.

Tabla 17: Flujo de Caja Incremental B-A

AÑO	0	1	2	3	4	5
Precio Venta m3 real (P)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Producción m3 real (Q)	\$0	-25716,0	-25716,0	-25716,0	-25716,0	-25716,0
(+) Ingreso por venta (P*Q)	\$0	-\$3.596.176.872	-\$3.596.176.872	-\$3.596.176.872	-\$3.596.176.872	-\$3.596.176.872
(-) Costos Variables Totales	\$0	-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796
(-) Costos Fijos	\$0	-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700
(+) Venta Activo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(=) Resultado Operacional Neto	\$0	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376
(-) Inversión Total	-\$87.354.540	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Valor de Desecho	0	0	0	0	0	\$71.909.180
(=) Flujo de Caja	-\$87.354.540	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.501.498.376	-\$3.429.589.196

Fuente: Elaboración Propia

$$VAN = \$ - 13.660.226.089$$

El flujo de caja incremental para el escenario B muestra flujos negativos y como resultado una VAN de \$-13.660,2 millones. Por lo tanto, implementar las grúas estacionarias sin un ajuste de los feeders resulta en un proyecto inviable.

Tabla 18: Flujo de Caja Incremental C-A

AÑO	0	1	2	3	4	5
Precio Venta m3 real (P)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Producción m3 real (Q)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(+) Ingreso por venta (P*Q)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(-) Costos Variables Totales		-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796	-\$57.871.796
(-) Costos Fijos		-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700	-\$36.806.700
(+) Venta Activo		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(=) Resultado Operacional Neto		\$94.678.496	\$94.678.496	\$94.678.496	\$94.678.496	\$94.678.496
(-) Inversión Total	-\$87.354.540	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Valor de Desecho		0	0	0	0	\$71.909.180
(=) Flujo de Caja	-\$87.354.540	\$94.678.496	\$94.678.496	\$94.678.496	\$94.678.496	\$166.587.676

Fuente: Elaboración Propia

$$VAN = \$327.647.825$$

$$TIR = 108\%$$

$$Periodo de Payback = 0,9 Años$$

Por otro lado, en el caso del escenario C, las cifras resultan positivas. El VAN de \$327,6 millones de pesos significan que después de descontar los flujos de caja netos adicionales generados por el ahorro de costos de la implementación de grúas estacionarias y la retirada de una grúa móvil, el valor presente neto de estos beneficios es positivo. Esto indica que el ahorro de costos supera la inversión adicional requerida para implementar las grúas estacionarias, ajustado por la tasa de descuento del 9%.

La TIR incremental del 108% indica la tasa de retorno adicional sobre la inversión adicional realizada para implementar las grúas estacionarias y retirar la grúa móvil. Esta tasa es considerablemente superior a la tasa de descuento del 9%, lo que sugiere que el proyecto ofrece un retorno muy atractivo.

Esta tasa representa el rendimiento anualizado de los flujos de caja netos adicionales, después de considerar el ahorro de costos y la inversión inicial, y al aplicar la tasa de descuento del 9%. Además, en 0,9 años, equivalente a 11 meses se habrá recuperado la inversión de \$87,4 millones de pesos por la implementación de las grúas estacionarias.

3.2.13 Costo Anual Equivalente (CAE)

Tabla 19: Comparación CAE

Escenario	Escenario A	Escenario C
Detalle	Con Grúa Liebherr	Con Grúas Estacionarias
Tasa	9%	9%
Vida útil	25	25
Total Inversión Inicial	\$0	-\$87.354.540
Costo Total Anual	\$103.000.000	\$8.321.504
VAC	\$-1.011.725.699	\$-169.093.175
CAE (pago)	\$103.000.000	\$17.214.742

Fuente: Elaboración Propia

El Valor actual de los costos (VAC) indica que, en 25 años, el escenario A tendrá un costo acumulado de \$1.011,7 millones, mientras que en el escenario C tendrá un costo acumulado de solamente \$169,1 millones en valor presente con tasa de descuento del 9%.

De esta manera, el CAE para el escenario A es igual a \$103 millones mientras que para el escenario B es de \$17,2 millones de pesos. La diferencia en los costos anuales entre ambos proyectos es:

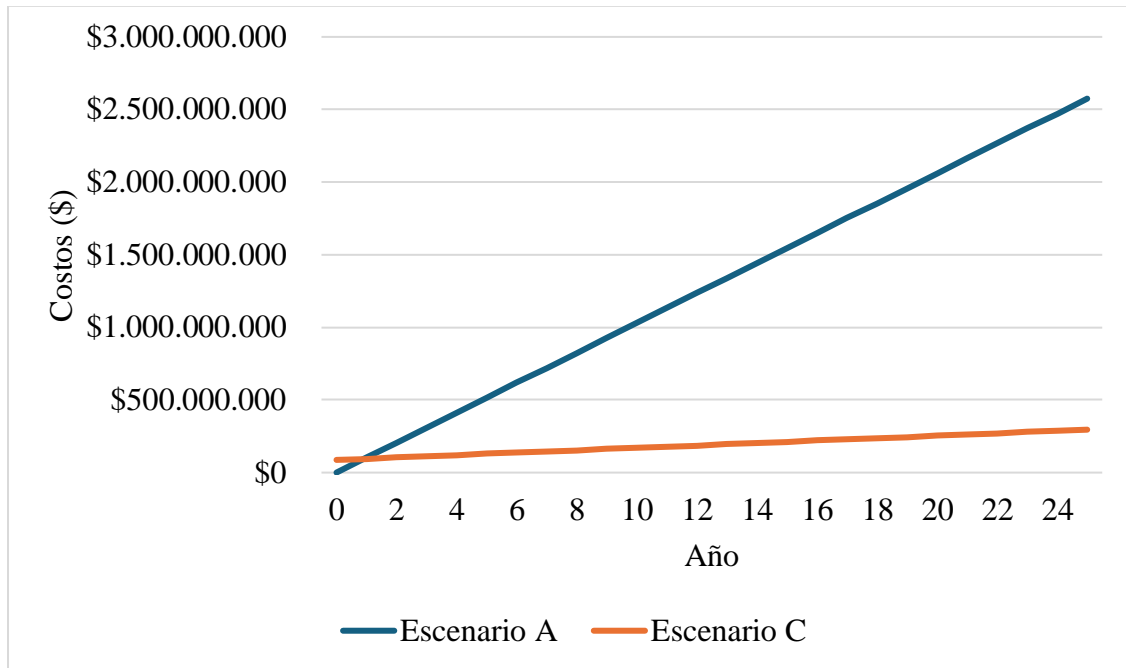
$$\$103.000.000 - \$17.214.742 = \$85.785.258$$

Porcentualmente:

$$\% \text{ diferencia de CAE} = 1 - \frac{\$17.214.742}{\$103.000.000} = 84\%$$

Con 84%, la diferencia en el CAE entre ambos escenarios es significativa, donde el proyecto de grúas estacionarias tiene un costo anual mucho menor en comparación con el proyecto de grúa móvil.

Figura 20: Comparación CAE Escenario A y C



Fuente: Elaboración Propia

3.2.14 Simulación de Montecarlo

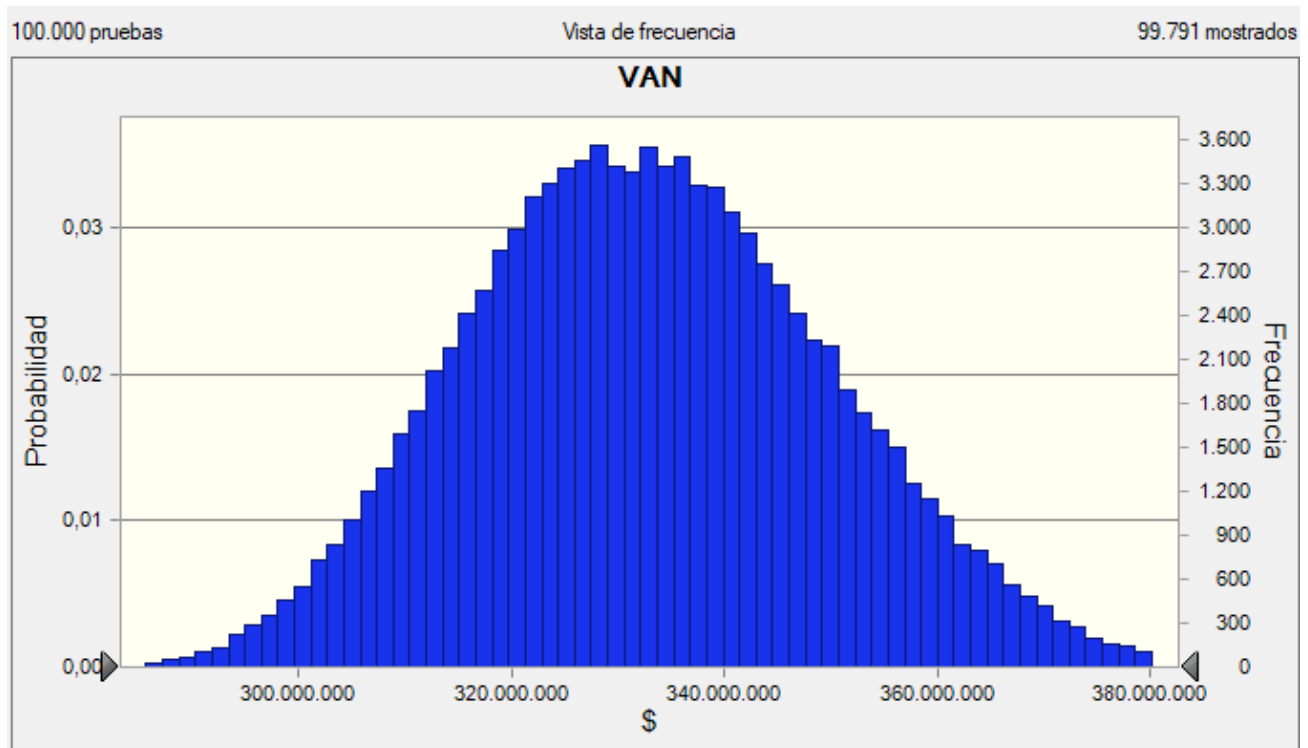
Mediante 100.000 iteraciones de simulación, se han obtenido estimaciones robustas del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de retorno (payback). Estos resultados ofrecen una perspectiva integral sobre el desempeño financiero esperado del proyecto, así como los riesgos y oportunidades asociados.

Tabla 20: Resultados clave Simulación de Montecarlo

Valor Actual Neto (VAN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Payback
Media: \$332.907.412	Media: 110%	Media: 11 meses
Desviación Estándar: \$16.862.729	Desviación Estándar: 14%	Desviación Estándar: 1,4 meses
Mínimo: \$282.442.162	Mínimo: 82%	
Máximo: \$389.634.163	Máximo: 155%	

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Frecuencia VAN Simulación de Montecarlo



Fuente: Elaboración Propia a partir de StatFit (2024)

Rentabilidad: Los resultados del análisis indican que el proyecto tiene una alta probabilidad de ser rentable, con un VAN medio de \$332,9 millones. La desviación estándar relativamente baja de \$16.862.729 sugiere que las variaciones en el VAN no son significativas, reforzando la estabilidad del proyecto.

Alta Tasa de Retorno: La TIR media del 110% es significativamente superior a la tasa de descuento considerada, lo que indica una fuerte capacidad del proyecto para generar retornos sobre la inversión. Incluso en el peor escenario simulado, la TIR se mantiene en un 82%, lo cual es considerablemente atractivo.

Rápido Retorno de la Inversión: El periodo de payback promedio de 11 meses es muy favorable, indicando que la inversión inicial será recuperada en un corto plazo. Esto contribuye a reducir el riesgo financiero y mejora la liquidez de la empresa.

Variabilidad Controlada: La desviación estándar en todas las métricas (VAN, TIR y Payback) sugiere que, aunque existen variaciones en los posibles resultados, estas son relativamente contenidas, proporcionando confianza en la predictibilidad del desempeño del proyecto.

4 Conclusión

El objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad técnica y económica de reemplazar el servicio actual de grúa móvil por dos grúas estacionarias en la zona de alimentación del Aserradero El Colorado de Empresas Arauco. El propósito fue evaluar el impacto de su potencial implementación para el área de mejora continua de la empresa.

La baja utilización actual de la grúa móvil, operando solo el 32% del tiempo, resalta la necesidad de optimizar los recursos disponibles. La implementación de grúas estacionarias permitirá un uso más eficiente del equipo y reducirá las interrupciones en la línea de producción.

En función de las simulaciones desarrolladas, se pudo evaluar que las grúas SIGU y Palfinger cubrirían de manera efectiva las áreas críticas del aserradero, asegurando la continuidad de las operaciones sin necesidad de intervenciones frecuentes. Sin embargo, la descarga de rollizos de la mesa de alimentación (máquina 10) será una responsabilidad que tomará únicamente los cargadores frontales.

Se debe mantener el factor operacional de la planta por lo que sería esencial mantener los equipos de la zona de ingreso de trozos en buen estado mediante mantenciones preventivas periódicas para evitar repercusiones negativas en el desempeño del aserradero. En caso de falla mecánica en la zona de ingreso de trozos, las grúas estacionarias no podrían mantener la producción constante a diferencia de la grúa Liebherr. Cada hora detenida del aserradero se evalúa en 15K USD según datos entregados por El Colorado.

La grúa Liebherr se encarga de aumentar el ritmo del aserradero desde los 19 a 21 trozos/min que se exige en ciertos programas de producción compensando la lentitud de los Feeders 1 y 2. Si no se realiza el ajuste de ritmo de estos feeders, el proyecto de implementación de grúas NO se deberá llevar a cabo. El análisis de factibilidad técnica ha demostrado que en el escenario donde se implementen las grúas sin ajuste de los feeders se traduce en una pérdida del 9% en producción real de madera aserrada, equivalente a \$300M mensuales.

Por otro lado, el análisis económico en el escenario donde se implementan las grúas estacionarias con ajuste de los feeders muestra un VAN medio de \$332,9 millones, una TIR media del 110%, y un periodo de payback de 11 meses, lo que indica que el proyecto es financieramente sólido. La baja

desviación estándar en estas métricas proporciona confianza en la predictibilidad del desempeño del proyecto.

4.1 Recomendaciones

Se recomienda proceder con la adquisición e implementación de las grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado. Los beneficios económicos y operativos, junto con la alta rentabilidad y rápido retorno de la inversión, justifican esta decisión.

Se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de la zona de ingreso de trozos para asegurar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil.

También, es necesario establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de las grúas estacionarias y realizar ajustes necesarios para maximizar la eficiencia operativa.

Es necesario asegurar que los operadores del aserradero estén capacitados en el manejo y mantenimiento de las nuevas grúas estacionarias para minimizar el riesgo de errores operativos y maximizar la productividad.

El proyecto indica que la implementación de las grúas estacionarias en el Aserradero El Colorado representa una decisión estratégica rentable. Con un análisis técnico que muestra la utilización de la grúa móvil y las áreas críticas de intervención, las nuevas grúas propuestas se ajustan eficientemente a las necesidades operativas.

5 Bibliografía

- AbonirGrupo. (junio de 2024). *Sistema de Cámara Inalámbrica*. Obtenido de abonirgrupo.com:
<https://www.abonirgrupo.com/producto/sistema-de-camara-inalambrica-profesional/?producto-pdf=2203>
- ARAUCO. (2017). *Política de Medio Ambiente, Calidad, Seguridad y Salud Ocupacional*. Obtenido de arauco.com: https://arauco.com/colombia/wp-content/uploads/sites/18/2017/07/Politica_MACSSO__Forestal_firmada_vfinal.pdf
- Cameros, Saenz-Laguna, & Cia. (2011). *Revista Aniversario 20 años Aserradero El Colorado Curanilahue*. Obtenido de issuu.com:
https://issuu.com/jpablovergara/docs/revista_aserradero_ultima
- CYPE Ingenieros S.A. (2024). *MONTAJE Y DESMONTAJE DE GRÚA TORRE*. Obtenido de chile.generadordeprecios.inf:
https://chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/Trabajos_previos/Andamios_y_maquinaria_de_elevacion/Gruas_torre/Montaje_y_desmontaje_de_grua_torre_0_0_0_0.html
- CYPE Ingenieros S.A. (2024). *TRANSPORTE Y RETIRADA DE GRÚA TORRE*. Obtenido de chile.generadordeprecios.info:
https://chile.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Trabajos_previos/Andamios_y_maquinaria_de_elevacion/Gruas_torre/Transporte_y_retirada_de_grua_torre_0_0_0_0.html
- Durán, G. (2008). *Informe Industria Forestal*. Obtenido de Fundación Sol:
https://www.fundacionsol.cl/cl_luzit_herramientas/static/wp-content/uploads/2010/09/Cuaderno-4-Industria-Forestal.pdf
- Falabella. (2024). *Radiocontrol Inalámbrico TXRX Puente Grúa F24-60 380v*. Obtenido de Falabella.com: <https://www.falabella.com/falabella-cl/product/112698912/Radiocontrol-Inalambrico-TXRX-Puente-Grua-F24-60-380v/112698913>
- Huerta, P. (2008). *El Desarrollo De Arauco*. Obtenido de Guerras Y Navas:
https://www.guerrasynavas.com/pdf/CLL-001-CL_ARAUCO.pdf

INFOR. (2024). *Precios de madera pino radiata*. Obtenido de Infor.cl: https://wef.infor.cl/index.php/sector-forestal/precios-de-productos-forestales/elaborada-pino-radiata?view=comercio_pre_elaboradapino

Instituto Forestal. (Septiembre de 2020). *Elaboración en la Industria del Aserrío en Chile*. Obtenido de bibliotecadigital: <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/30331/30331.pdf;jsessionid=4F06FBFA97C98792D4CC943B248B5A42?sequence=2>

LECTURA specs. (2024). *Liebherr A 924 C Litonic Ficha tecnica & Especificaciones (2007-2014)*. Obtenido de Lectura-Specs.es: <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/maquinaria-para-la-construccion-y-obras-publicas/excavadoras-hidraulicas-de-ruedas-liebherr/a-924-c-litonic-1038136>

Mordor Intelligence. (2024). *Tamaño del mercado de madera aserrada y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)* Source: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/sawnwood-market>. Obtenido de mordorintelligence: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/sawnwood-market>

SAÉZ Cranes. (2022). *Grúa torre SELF-ERECTING Hidráulica H 25*. Obtenido de <https://gruassaez.com/grua-torre-self-erecting-hidraulica-h-25/>

SASIPA. (2024). *Tarifas de Electricidad*. Obtenido de sasipa.cl: <https://www.sasipa.cl/tarifas-electricas/>

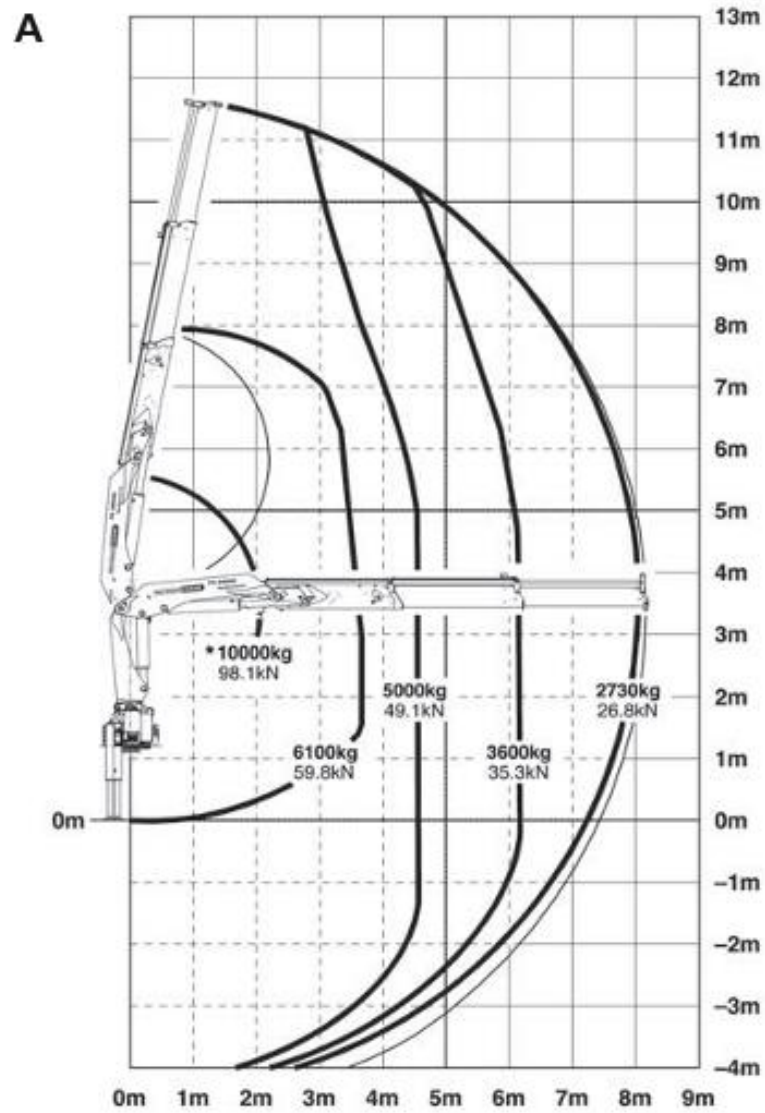
SIGU. (2024). *Grúas Estacionarias y Viajeras*. Obtenido de Sigu.cl: <https://www.sigu.cl/productos/gruas>

Velásquez, E. P., Recabarren, H. T., & Hernández, P. P. (Diciembre de 2023). *LA INDUSTRIA DEL ASERRÍO 2023*. Obtenido de Instituto Forestal, Chile: https://wef.infor.cl/?option=com_wef&task=GetFile&format=raw&id=82&f=17&n=2023

6 Anexo

Anexo 1: Rango de Operación Grúa Palfinger PK23500

PK 23500 Performance



Fuente: Jefe de Operaciones Procesos Verdes (3 de abril, 2024)

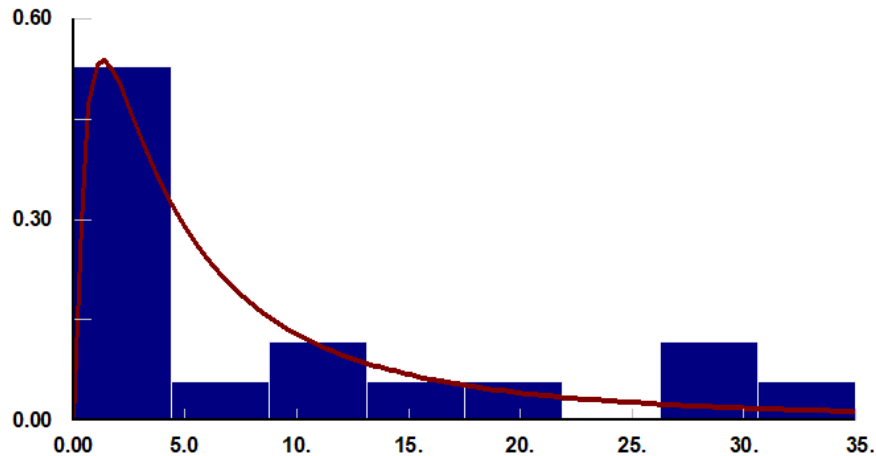
Anexo 2: Registro de Intervenciones Grúa Liebherr

Fecha	Hi	Hf	Máquina	Causa/origen Evento	Ø (cm)	L (mm)	Despl. Posición original	T. en uso (min)
23-01-2024	11:17:15	11:19:15	Máquina 10	Exceso MP	28	3660	Sí	2,0
23-01-2024	12:16:18	12:18:18	Máquina 113	Cruzamiento	28	3660	Sí	2,0
23-01-2024	12:39:00	12:40:54	Máquina 70	Exceso MP	28	3660	Sí	1,9
19-01-2024	8:20:20	8:20:50	Máquina 20	Cruzamiento	26	3660	No	0,5
19-01-2024	8:38:00	8:40:00	Máquina 97	Cruzamiento	26	3660	Sí	2,0
18-01-2024	9:53:00	9:55:00	Máquina 20	Cruzamiento	24	3650	No	2,0
18-01-2024	10:19:00	10:22:00	Máquina 80	Deficit MP	24	3650	Sí	3,0
18-01-2024	10:23:00	10:23:47	Máquina 80	Cruzamiento	24	3650	Sí	0,8
18-01-2024	10:53:00	10:55:00	Máquina 113	Cruzamiento	24	3650	Sí	2,0
18-01-2024	11:10:00	11:12:00	Máquina 10	Cruzamiento	24	3650	No	2,0
18-01-2024	11:14:20	11:15:00	Máquina 112	Trabado	24	3650	Sí	0,7
18-01-2024	11:18:00	11:20:00	Máquina 20	Cruzamiento	24	3650	No	2,0
18-01-2024	11:28:20	11:29:00	Máquina 60	Deficit MP	24	3650	No	0,7
19-01-2024	8:14:47	8:16:40	Máquina 113	Cruzamiento	24	3660	Sí	1,9
23-01-2024	15:02:31	15:03:31	Máquina 60	Deficit MP	24	3660	No	1,0
23-01-2024	16:41:11	16:42:07	Máquina 31	Cruzamiento	24	3650	No	0,9
23-01-2024	16:46:21	16:47:07	Máquina 20	Ø Distinto	24	3650	No	0,8
18-01-2024	11:52:00	11:53:00	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	1,0
18-01-2024	11:59:30	12:02:00	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	2,5
18-01-2024	12:09:30	12:12:56	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	3,4
18-01-2024	12:15:30	12:18:20	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	2,8
18-01-2024	12:25:20	12:25:40	Máquina 100,1	Cruzamiento	22	3650	Sí	0,3
18-01-2024	12:25:55	12:26:30	Máquina 60	Cruzamiento	22	3650	No	0,6
18-01-2024	12:37:20	12:40:20	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	3,0
18-01-2024	12:41:25	12:42:40	Máquina 80	Cruzamiento	22	3650	Sí	1,2
18-01-2024	14:51:00	14:52:00	Máquina 20	Cruzamiento	22	3650	No	1,0
18-01-2024	15:15:00	15:17:00	Máquina 111	Cruzamiento	22	3650	Sí	2,0
18-01-2024	15:19:00	15:20:00	Máquina 60	Cruzamiento	22	3650	No	1,0
18-01-2024	15:28:00	15:28:30	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	0,5
18-01-2024	15:28:30	15:32:00	Máquina 10	Exceso MP	22	3650	Sí	3,5
18-01-2024	15:42:00	15:46:00	Máquina 60	Deficit MP	22	3650	No	4,0
22-01-2024	14:21:00	14:22:00	Máquina 20	Cruzamiento	22	3670	No	1,0
22-01-2024	14:33:18	14:36:00	Máquina 62	Mecánica	22	3670	Sí	2,7
22-01-2024	14:45:00	14:51:00	Máquina 10	Exceso MP	22	3670	Sí	6,0
23-01-2024	8:00:01	8:36:08	Máquina 97	Mecánica	22	3650	Sí	36,1
23-01-2024	9:06:21	9:07:20	Máquina 60	Trozo Quebrado	22	3650	No	1,0
23-01-2024	9:44:47	9:45:24	Máquina 20	Trozo Quebrado	22	3650	No	0,6
18-01-2024	15:50:00	15:52:00	Máquina 60	Deficit MP	20	3650	No	2,0
18-01-2024	15:56:00	15:57:00	Máquina 60	Deficit MP	20	3650	No	1,0
18-01-2024	16:02:00	16:03:00	Máquina 20	Cruzamiento	20	3650	No	1,0
18-01-2024	16:03:00	16:04:00	Máquina 60	Deficit MP	20	3650	No	1,0
18-01-2024	16:17:00	16:19:00	Máquina 55	Cruzamiento	20	3650	No	2,0
18-01-2024	16:31:00	16:31:30	Máquina 20	Cruzamiento	20	3650	No	0,5
18-01-2024	17:24:00	17:25:00	Máquina 111	Cruzamiento	20	3650	Sí	1,0
18-01-2024	17:30:00	17:33:15	Máquina 60	Deficit MP	20	3650	No	3,3
22-01-2024	8:00:01	10:17:01	Máquina 80	Mecánica	20	3660	Sí	137,0
22-01-2024	10:52:59	10:54:41	Máquina 55	Trozo Quebrado	20	3660	No	1,7
22-01-2024	12:00:23	12:02:09	Máquina 113	Cruzamiento	20	3660	Sí	1,8
22-01-2024	12:43:45	12:44:29	Máquina 55	Trozo Quebrado	20	3660	No	0,7
22-01-2024	13:33:35	13:34:30	Máquina 113	Cruzamiento	20	3650	Sí	0,9
22-01-2024	13:34:41	13:36:00	Máquina 60	Deficit MP	20	3660	No	1,3
22-01-2024	13:39:08	13:49:30	Máquina 97	Cruzamiento	20	3660	Sí	10,4
22-01-2024	13:56:00	13:57:00	Máquina 31	Cruzamiento	20	3660	No	1,0
18-01-2024	17:35:00	17:37:00	Máquina 60	Deficit MP	18	3650	No	2,0
18-01-2024	17:38:00	17:39:00	Máquina 20	Cruzamiento	18	3650	No	1,0
18-01-2024	17:39:00	17:40:00	Máquina 61	Cruzamiento	18	3650	No	1,0

18-01-2024	17:40:00	17:44:00	Máquina 60	Deficit MP	18	3650	No	4,0
18-01-2024	17:40:00	17:44:00	Máquina 60	Deficit MP	18	3650	No	4,0
22-01-2024	15:10:27	15:11:01	Máquina 20	Cruzamiento	18	3670	No	0,6
22-01-2024	15:11:02	15:12:28	Máquina 60	Deficit MP	18	3670	No	1,4
22-01-2024	15:55:56	15:56:34	Máquina 60	Sobrecarga	18	3670	No	0,6
22-01-2024	15:56:56	15:57:42	Máquina 111	Cruzamiento	18	3670	Sí	0,8
22-01-2024	15:59:06	16:00:10	Máquina 20	Sobrecarga	18	3670	No	1,1
22-01-2024	16:01:50	16:02:56	Máquina 111	Cruzamiento	18	3670	Sí	1,1
22-01-2024	16:33:26	16:35:16	Máquina 20	Trozo Quebrado	18	3670	No	1,8
22-01-2024	16:35:51	16:36:33	Máquina 30	Trozo Quebrado	18	3670	No	0,7
22-01-2024	16:45:57	16:50:06	Máquina 111	Cruzamiento	18	3670	Sí	4,1
22-01-2024	17:49:12	17:50:09	Máquina 20	Trozo Quebrado	18	3670	No	1,0
22-01-2024	17:53:13	17:53:39	Máquina 100,1	Cruzamiento	18	3670	Sí	0,4
19-01-2024	9:39:00	9:39:30	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,5
19-01-2024	10:06:30	10:07:00	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,5
19-01-2024	10:18:00	10:18:40	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,7
19-01-2024	10:53:30	10:54:00	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,5
19-01-2024	10:55:10	10:56:00	Máquina 113	Cruzamiento	16	3660	Sí	0,8
22-01-2024	10:33:35	10:38:16	Zona Rechazo	Trozo Quebrado	16	3650	No	4,7
19-01-2024	11:08:00	11:10:00	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	2,0
19-01-2024	11:10:40	11:11:00	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,3
19-01-2024	11:11:30	11:11:40	Máquina 55	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,2
19-01-2024	11:11:50	11:12:45	Máquina 60	Deficit MP	16	3660	Sí	0,9
19-01-2024	11:17:00	11:19:00	Máquina 113	Cruzamiento	16	3660	Sí	2,0
19-01-2024	11:38:00	11:39:00	Máquina 31	Cruzamiento	16	3660	No	1,0
19-01-2024	11:39:00	11:39:20	Máquina 30	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,3
19-01-2024	11:40:20	11:41:30	Máquina 30	Trozo Quebrado	16	3660	No	1,2
19-01-2024	11:43:30	11:44:20	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	0,8
19-01-2024	11:50:00	11:50:30	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,5
19-01-2024	11:54:00	11:55:00	Máquina 20	Ø Distinto	16	3660	No	1,0
19-01-2024	11:56:00	11:57:00	Máquina 60	Deficit MP	16	3660	No	1,0
19-01-2024	11:57:00	11:57:30	Máquina 110	Trozo Quebrado	16	3660	Sí	0,5
19-01-2024	11:57:30	11:58:00	Zona rechazo	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,5
19-01-2024	11:59:00	12:00:00	Máquina 60	Trozo Quebrado	16	3660	No	1,0
19-01-2024	12:01:00	12:02:00	Zona rechazo	Trozo Quebrado	16	3660	No	1,0
19-01-2024	12:09:00	12:12:00	Máquina 111	Cruzamiento	16	3660	Sí	3,0
19-01-2024	12:14:00	12:15:00	Máquina 31	Cruzamiento	16	3660	No	1,0
19-01-2024	12:22:00	12:24:00	Máquina 60	Deficit MP	16	3660	No	2,0
19-01-2024	12:24:00	12:24:10	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,2
19-01-2024	12:24:10	12:25:30	Máquina 60	Deficit MP	16	3660	No	1,3
19-01-2024	12:25:30	12:26:00	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,5
19-01-2024	12:28:00	12:28:30	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,5
19-01-2024	12:28:30	12:30:00	Máquina 111	Cruzamiento	16	3660	Sí	1,5
19-01-2024	12:32:00	12:32:50	Máquina 30	Trozo Quebrado	16	3660	No	0,8
19-01-2024	12:37:00	12:40:00	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	3,0
19-01-2024	12:39:00	12:42:00	Máquina 20	Trozo Quebrado	16	3660	No	3,0
19-01-2024	12:42:00	12:43:00	Máquina 40	Trozo Quebrado	16	3660	No	1,0
19-01-2024	12:43:00	12:45:00	Máquina 70	Trozo Quebrado	16	3660	Sí	2,0
19-01-2024	12:47:00	12:48:00	Máquina 20	Cruzamiento	16	3660	No	1,0

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 1

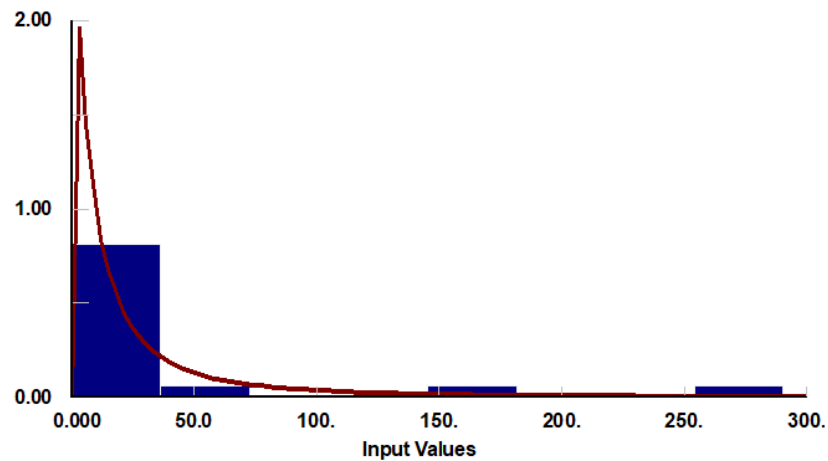


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[0, 1.71, 1.2]	100	do not reject	0.359
Exponential[0, 9.76]	55.3	do not reject	1
Uniform[0, 35]	0	reject	0.00324
Pareto	no fit	reject	0

Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Anexo 4: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 2

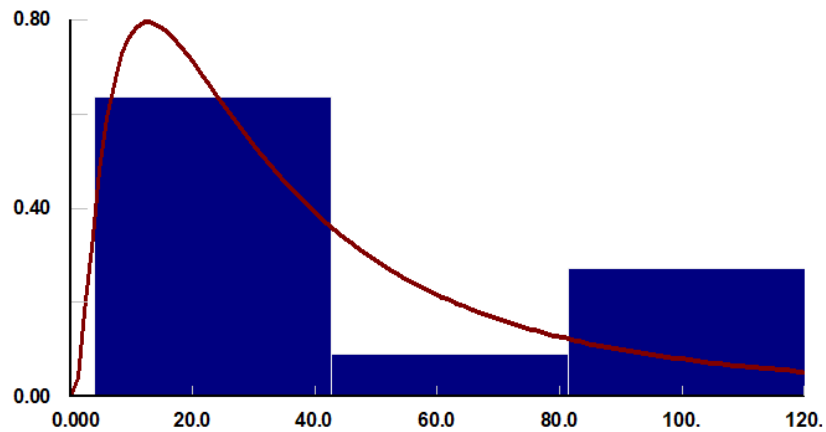


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[0, 2.58, 1.41]	100	do not reject	1
Exponential[0, 37.2]	0.122	reject	0.125
Uniform[0, 290]	0	reject	0
Pareto	no fit	reject	0

Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Anexo 5: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 3

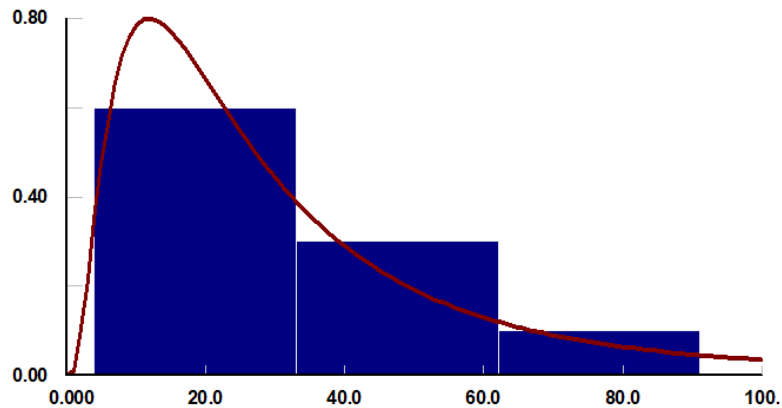


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[0, 3.47, 0.962]	100	do not reject	0.341
Exponential[0, 46.9]	96.1	do not reject	1
Uniform[0, 120]	0.716	do not reject	0.908
Pareto	no fit	reject	0

Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Anexo 6: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona 4

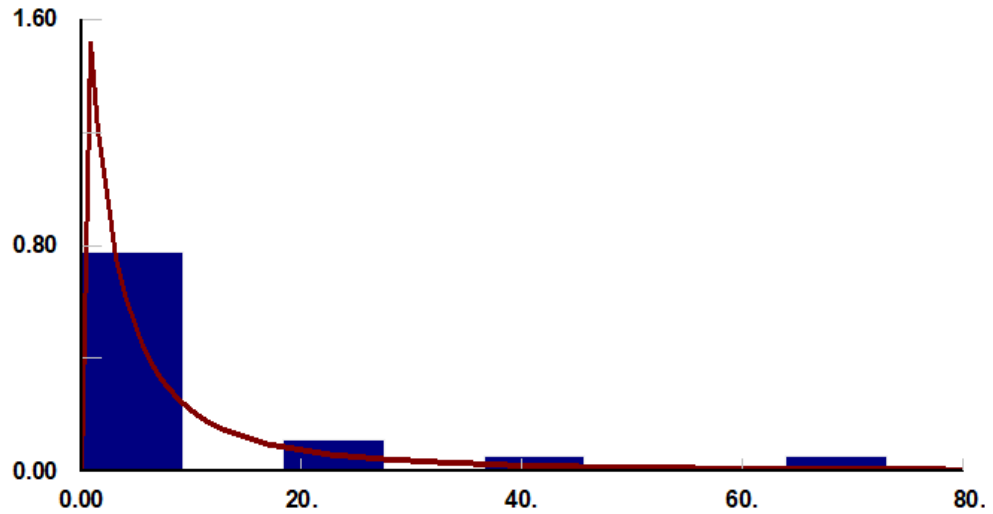


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[0, 3.2, 0.846]	100	do not reject	0.571
Exponential[0, 33.3]	65.2	do not reject	1
Uniform[0, 91]	0.997	do not reject	0.408
Pareto	no fit	reject	0

Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Anexo 7: Distribución de probabilidades de Interrupciones en Zona Rechazo

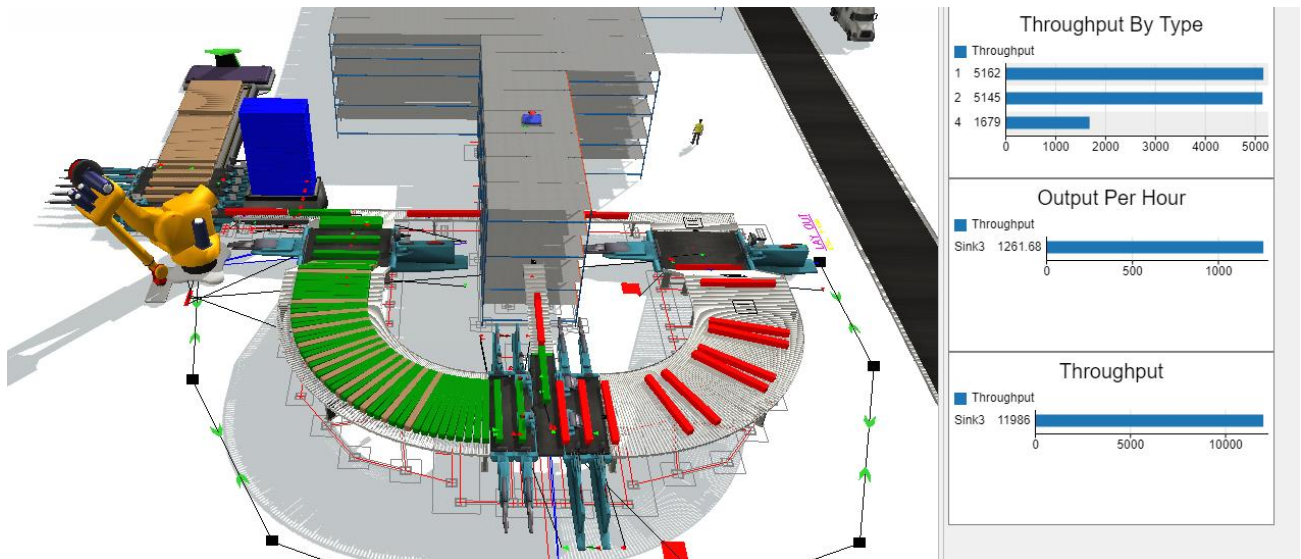


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[0, 1.52, 1.44]	100	do not reject	1
Exponential[0, 10.7]	1.27	reject	0.476
Uniform[0, 73]	0	reject	0
Pareto	no fit	reject	0

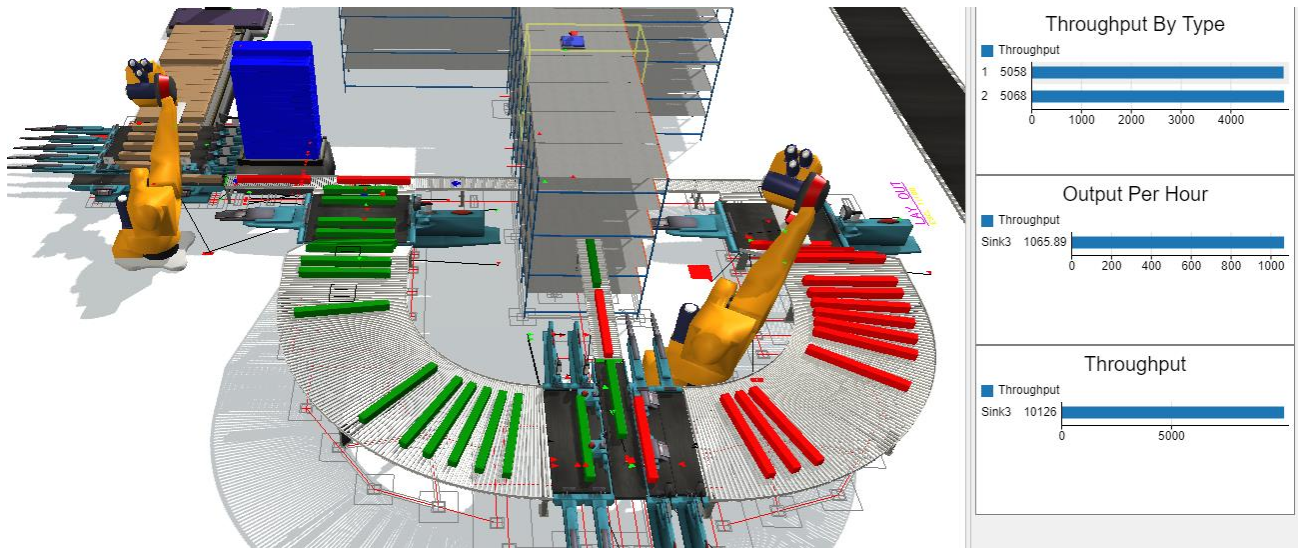
Fuente: Elaboración Propia mediante StatFit

Anexo 8: Resultados Simulación Flexsim Escenario A1



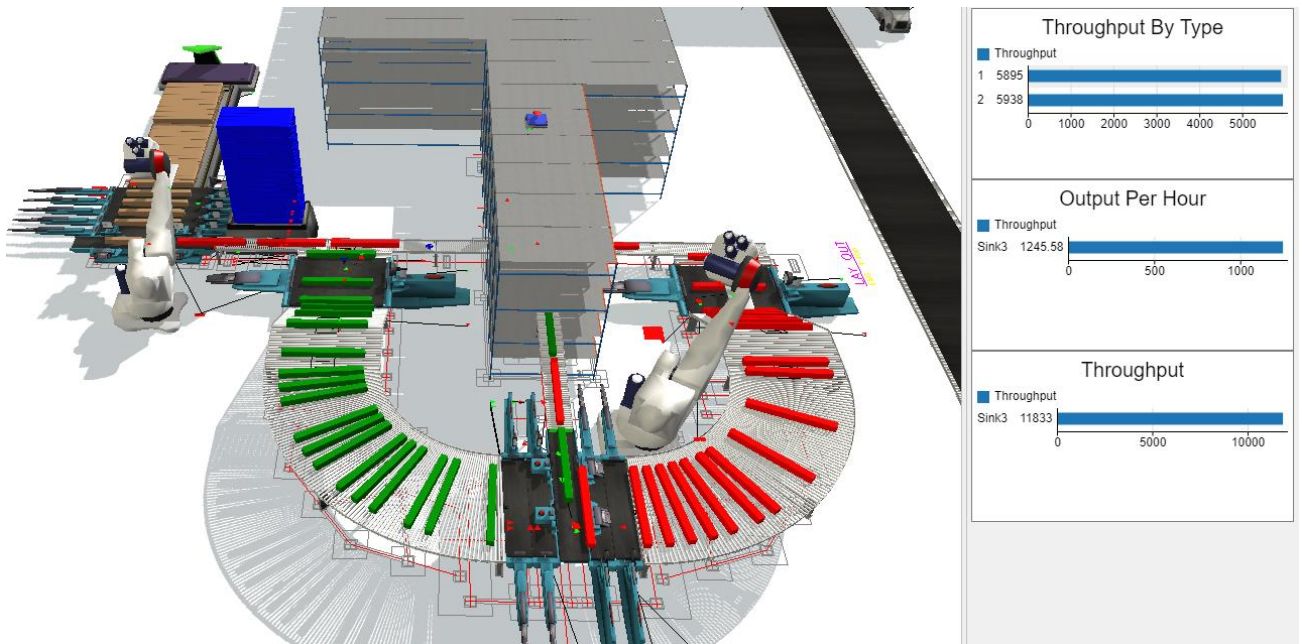
Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 9: Resultados Simulación Flexsim Escenario B1



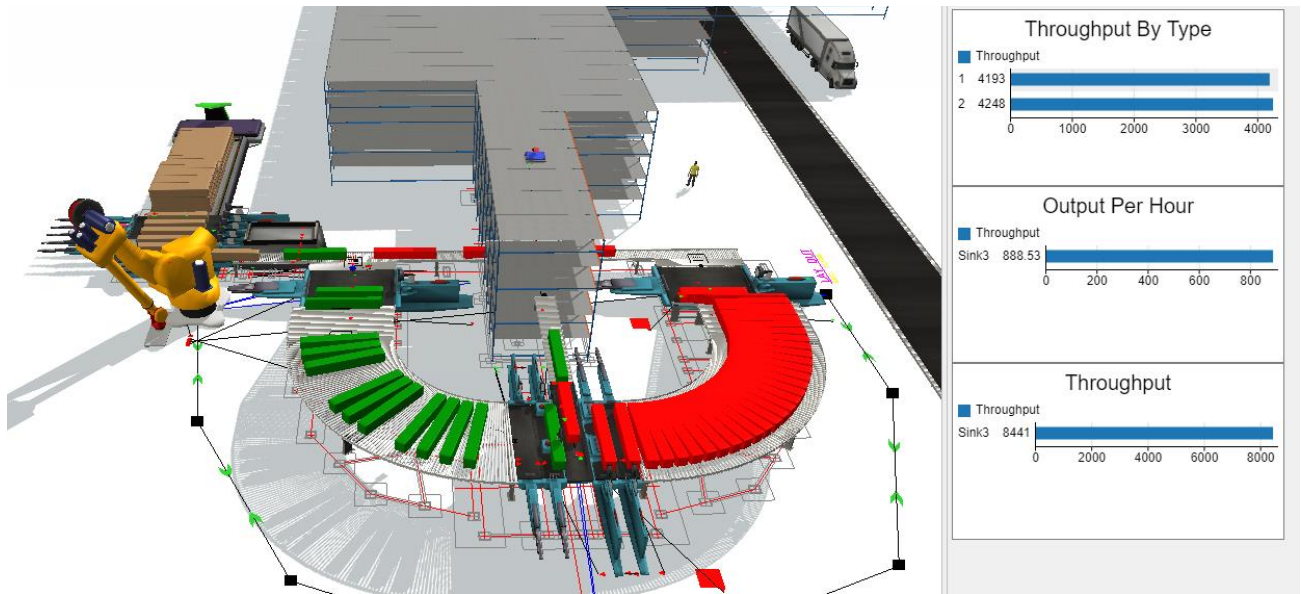
Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 10: Resultados Simulación Flexsim Escenario C1



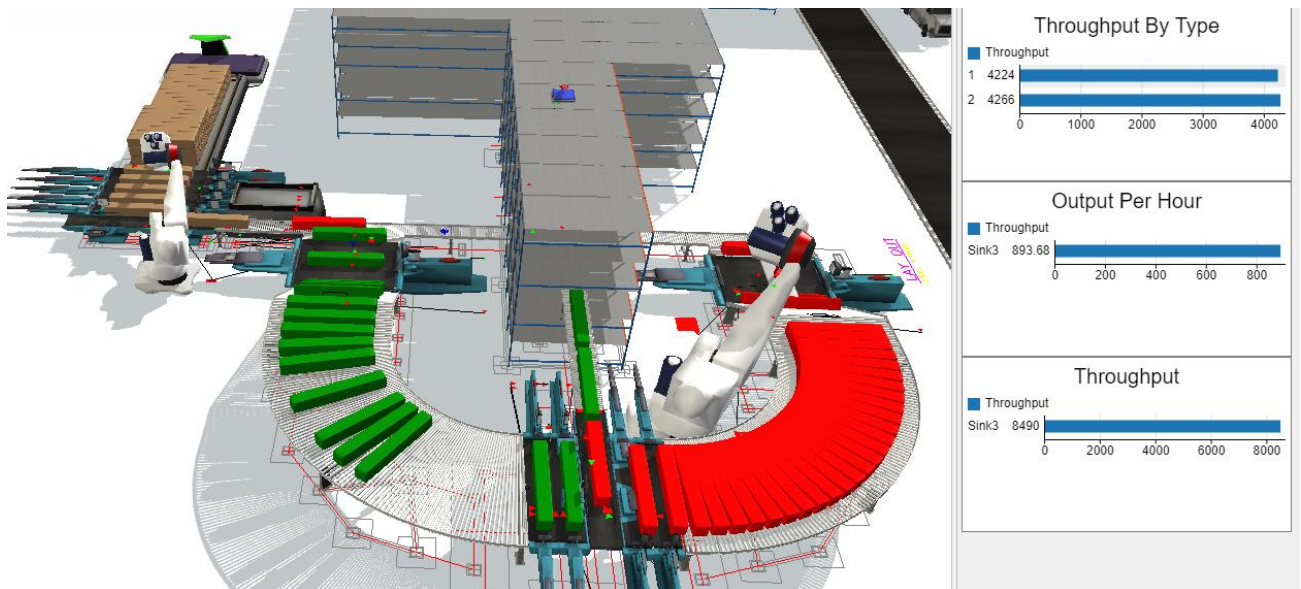
Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 11: Resultados Simulación Flexsim Escenario A2



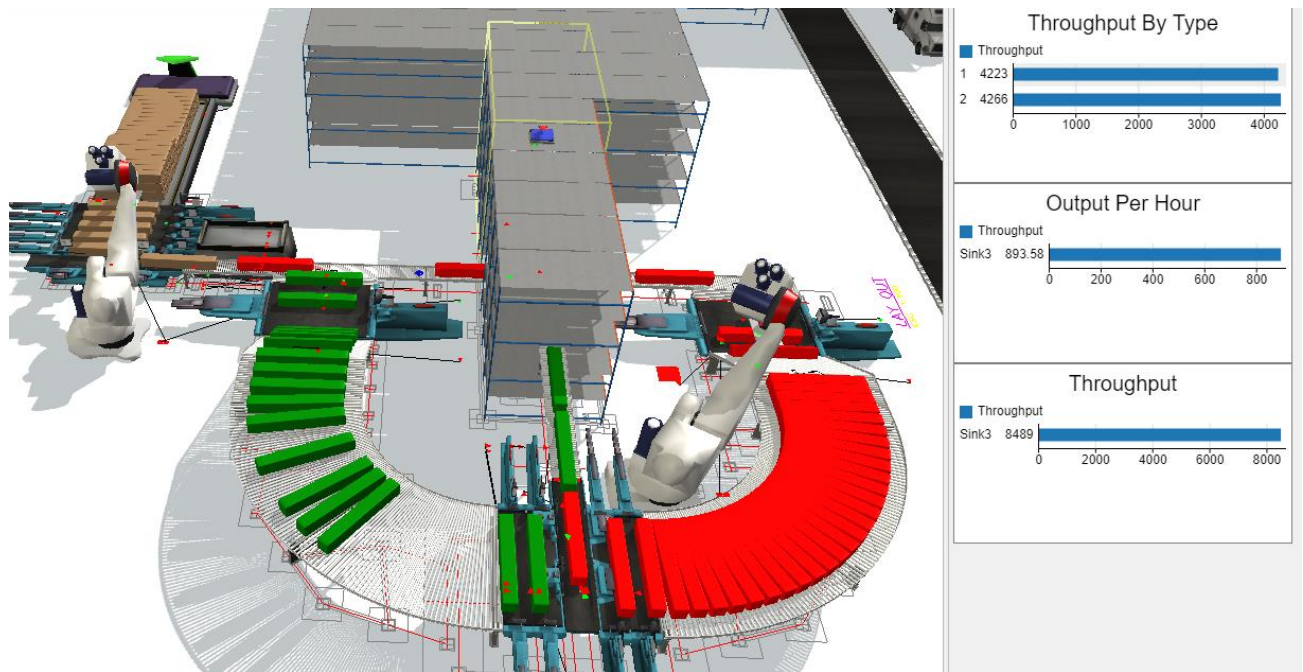
Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 12: Resultados Simulación Flexsim Escenario B2



Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 13: Resultados Simulación Flexsim Escenario C2



Fuente: Elaboración Propia mediante Flexsim

Anexo 14: NUEVA TABLA DE VIDA ÚTIL DE LOS BIENES FÍSICOS DEL ACTIVO INMOVILIZADO

NÓMINA DE BIENES SEGUN ACTIVIDADES	NUEVA VIDA ÚTIL NORMAL	DEPRECIACIÓN ACELERADA
A.- ACTIVOS GENÉRICOS		
1) Construcciones con estructuras de acero, cubierta y entrepisos de perfiles acero o losas hormigón armado.	80	26
2) Edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas.	50	16
3) Edificios fábricas de material sólido albañilería de ladrillo, de concreto armado y estructura metálica.	40	13
4) Construcciones de adobe o madera en general.	30	10
5) Galpones de madera o estructura metálica.	20	6
6) Otras construcciones definitivas (ejemplos: caminos, puentes, túneles, vías férreas, etc.).	20	6
7) Construcciones provisorias.	10	3
8) Instalaciones en general (ejemplos: eléctricas, de oficina, etc.).	10	3
9) Camiones de uso general.	7	2
10) Camionetas y jeeps.	7	2
11) Automóviles	7	2
12) Microbuses, taxibuses, furgones y similares.	7	2
13) Motos en general.	7	2
14) Remolques, semirremolques y carros de arrastre.	7	2
15) Maquinarias y equipos en general.	15	5
16) Balanzas, hornos microondas, refrigeradores, conservadoras, vitrinas refrigeradas y cocinas.	9	3
17) Equipos de aire y cámaras de refrigeración.	10	3
18) Herramientas pesadas.	8	2
19) Herramientas livianas.	3	1
20) Letreros camineros y luminosos.	10	3
21) Útiles de oficina (ejemplos: máquina de escribir, fotocopidora, etc.).	3	1
22) Muebles y enseres.	7	2
23) Sistemas computacionales, computadores, periféricos, y similares (ejemplos: cajeros automáticos, cajas registradoras, etc.).	6	2
24) Estanques	10	3
25) Equipos médicos en general.	8	2
26) Equipos de vigilancia y detección y control de incendios, alarmas.	7	2
27) Envases en general.	6	2
28) Equipo de audio y video.	6	2
29) Material de audio y video.	5	1

Fuente: SII (2024)

Anexo 15: Flujo de caja Escenario A

AÑO	0	1	2	3	4	5
Precio Venta m3 real (P)		\$139.842	\$139.842	\$139.842	\$139.842	\$139.842
Producción m3 real (Q)		283884	283884	283884	283884	283884
(+) Ingreso por venta (P*Q)		\$39.698.906.328	\$39.698.906.328	\$39.698.906.328	\$39.698.906.328	\$39.698.906.328
(-) Costos Variables Totales		\$58.600.000	\$58.600.000	\$58.600.000	\$58.600.000	\$58.600.000
(-) Costos Fijos		\$44.400.000	\$44.400.000	\$44.400.000	\$44.400.000	\$44.400.000
(+) Venta Activo		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(=) Resultado Operacional Neto		\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328
(-) Inversión Total		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Valor de Desecho						
(=) Flujo de Caja	\$0	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328	\$39.595.906.328

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 16: Flujo de caja Escenario B

AÑO	0	1	2	3	4	5
Precio Venta m3 real (P)		\$139.842	\$139.842	\$139.842	\$139.842	\$139.842
Producción m3 real (Q)		258168,0	258168,0	258168,0	258168,0	258168,0
(+) Ingreso por venta (P*Q)		\$36.102.729.456	\$36.102.729.456	\$36.102.729.456	\$36.102.729.456	\$36.102.729.456
(-) Costos Variables Totales		\$728.204	\$728.204	\$728.204	\$728.204	\$728.204
(-) Costos Fijos		\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300
(+) Venta Activo		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(=) Resultado Operacional Neto		\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952
(-) Inversión Total	-\$87.354.540	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Valor de Desecho						\$71.909.180
(=) Flujo de Caja	-\$87.354.540	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.094.407.952	\$36.166.317.132

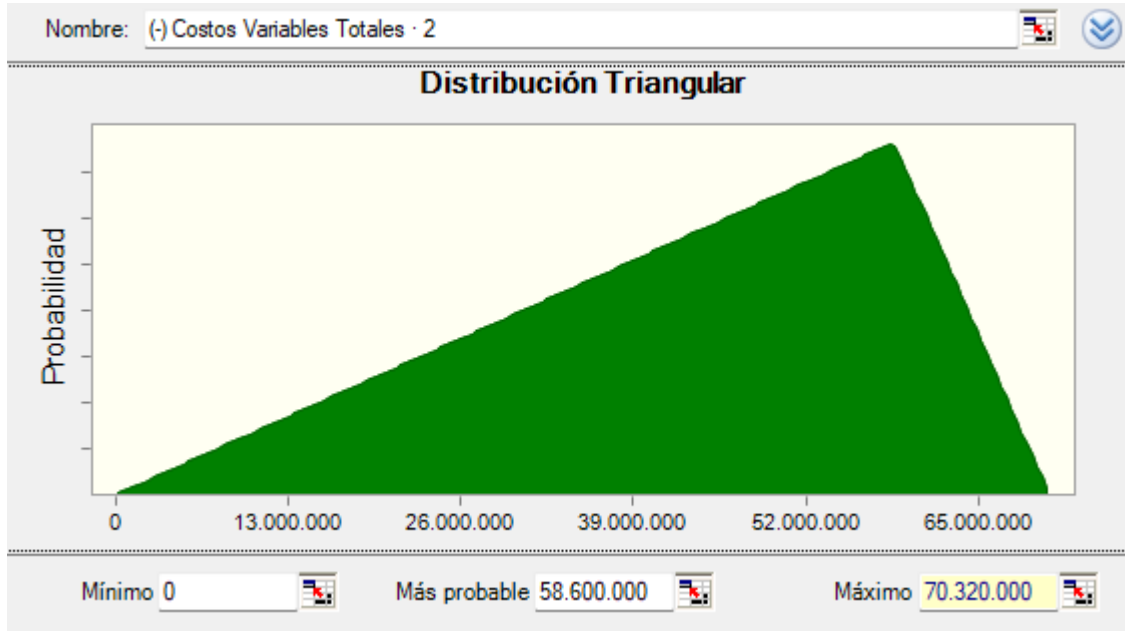
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 17: Flujo de caja Escenario C

AÑO	0	1	2	3	4	5
Precio Venta m3 real (P)		\$134.000	\$134.000	\$134.000	\$134.000	\$134.000
Producción m3 real (Q)		283884,0	283884,0	283884,0	283884,0	283884,0
(+) Ingreso por venta (P*Q)		\$38.040.456.000	\$38.040.456.000	\$38.040.456.000	\$38.040.456.000	\$38.040.456.000
(-) Costos Variables Totales		\$728.204	\$728.204	\$728.204	\$728.204	\$728.204
(-) Costos Fijos		\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300	\$7.593.300
(+) Venta Activo		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(=) Resultado Operacional Neto		\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496
(-) Inversión Total	-\$87.354.540	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Valor de Desecho						\$71.909.180
(=) Flujo de Caja	-\$87.354.540	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.032.134.496	\$38.104.043.676

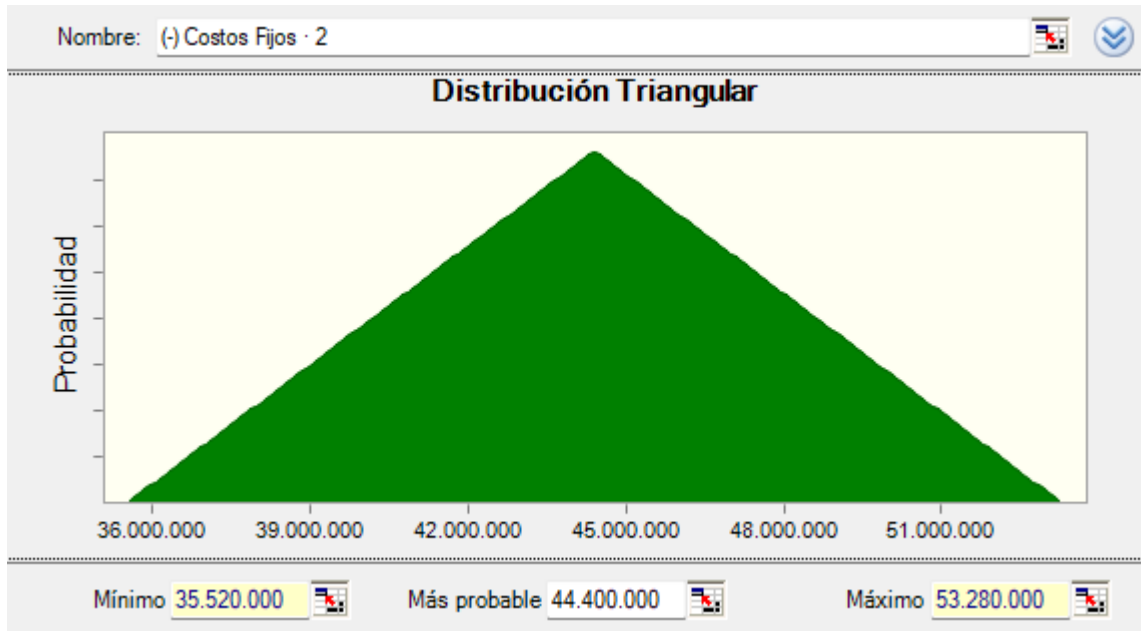
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 18: Distribución de Probabilidades en Costos Variables Escenario A



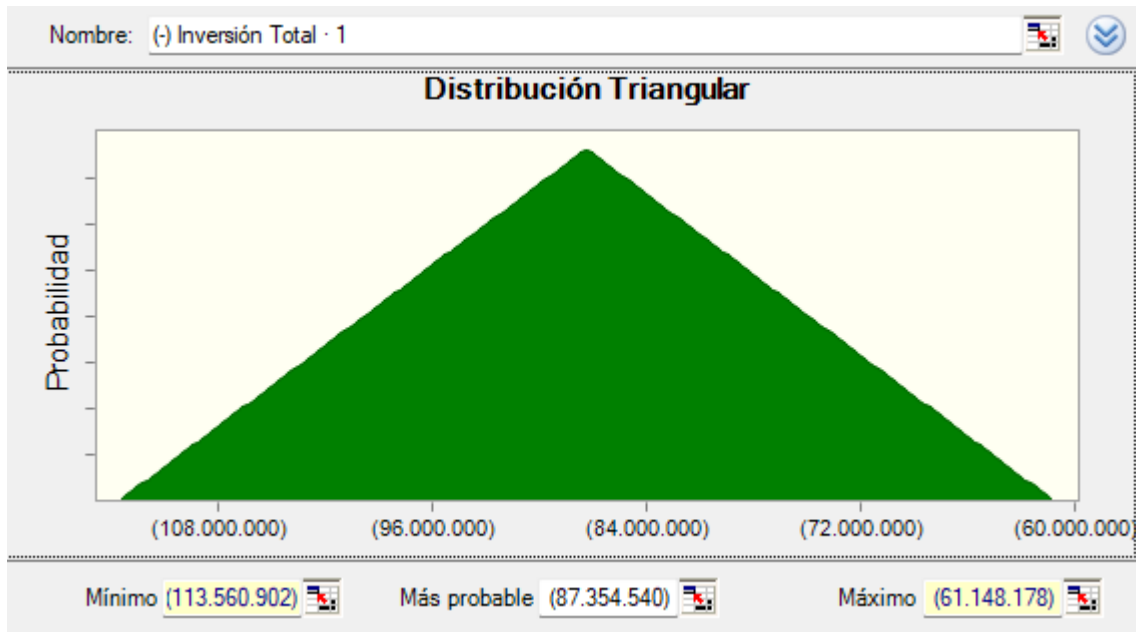
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 19: Distribución de Probabilidades en Costos Fijos Escenario A



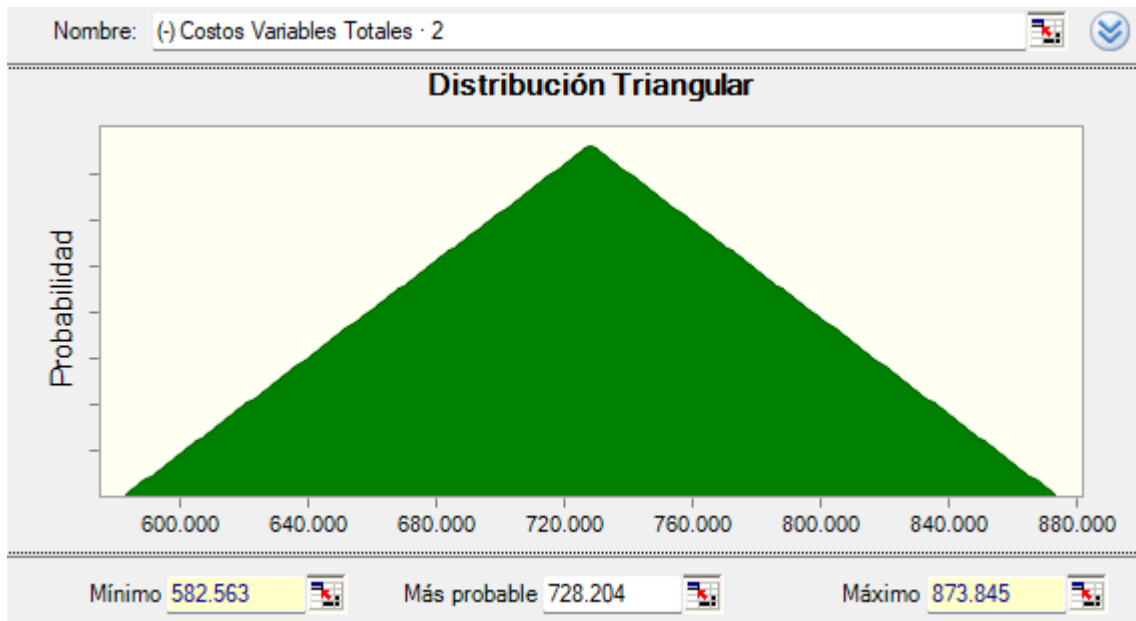
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 20: Distribución de Probabilidades en Inversión Total Escenario C



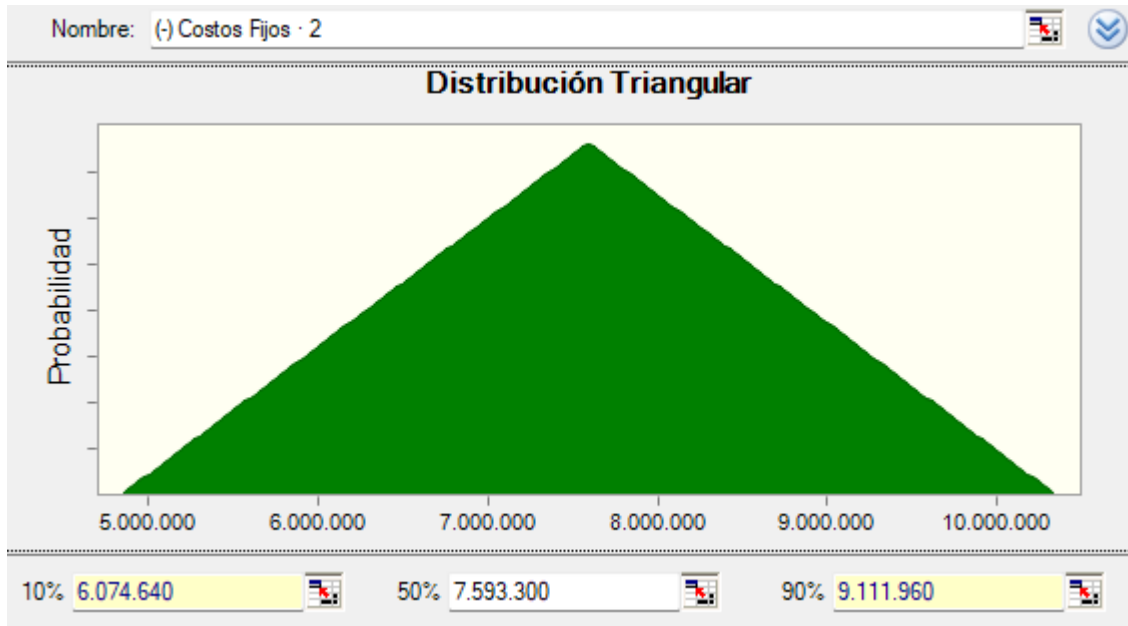
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 21: Distribución de Probabilidades en Costos Variables Escenario C



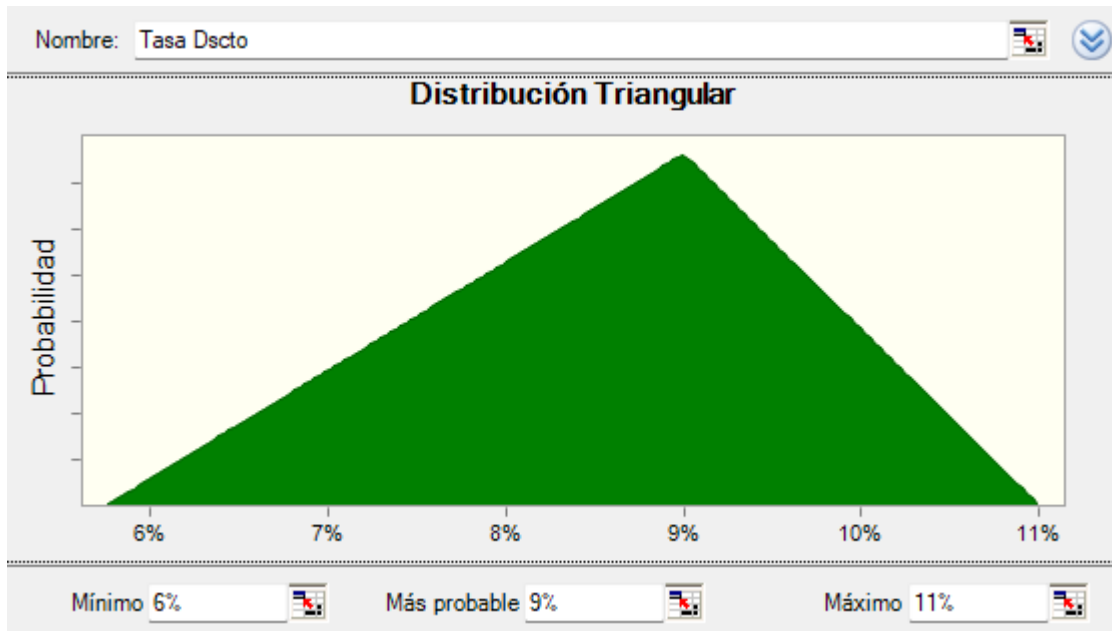
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 22: Distribución de Probabilidades en Costos Fijos Escenario C



Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 23: Distribución de Probabilidades en Tasa de descuento



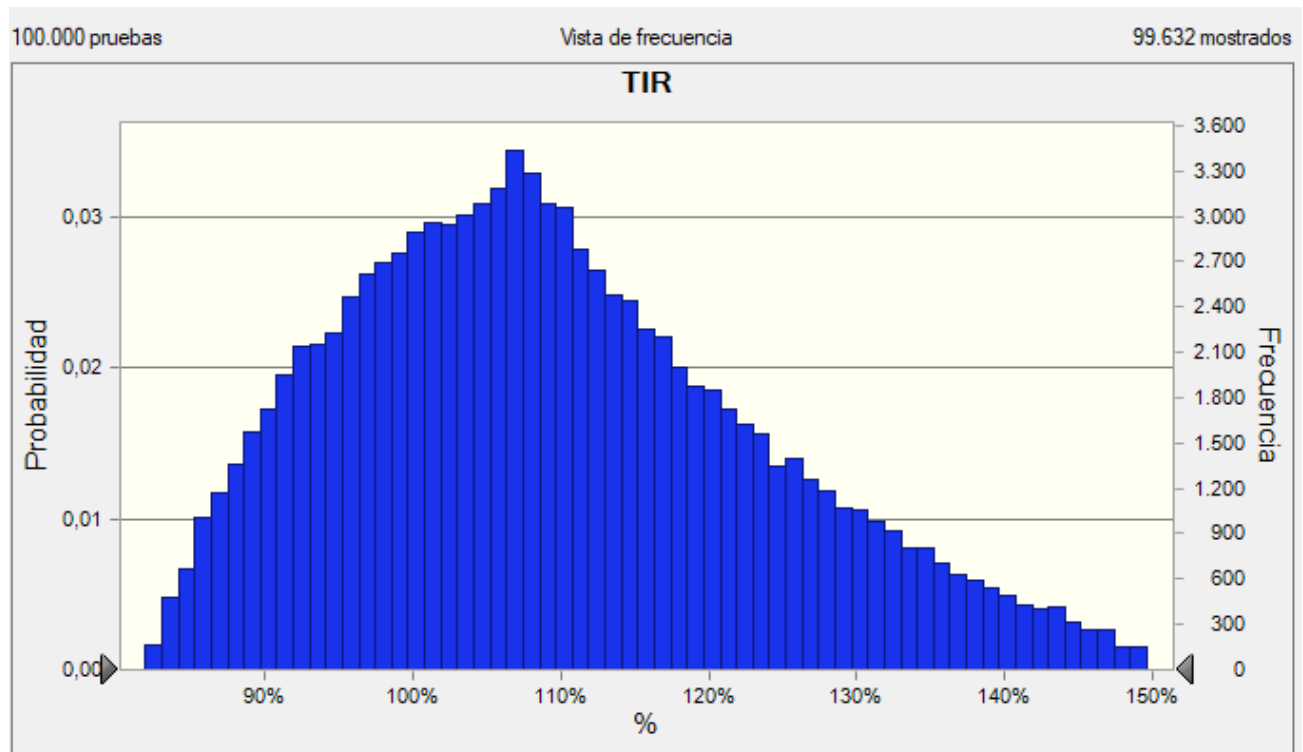
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 24: Estadísticas de VAN Simulación de Montecarlo

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	100.000
Caso base	327.647.825
Media	332.907.412
Mediana	332.381.606
Modo	---
Desviación estándar	16.862.729
Varianza	284.351.634.431.453
Sesgo	0,1536
Curtosis	2,71
Coefficiente de variación	0,0507
Mínimo	282.442.164
Máximo	389.634.163
Error estándar medio	53.325

Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 25: Frecuencia de TIR Simulación de Montecarlo



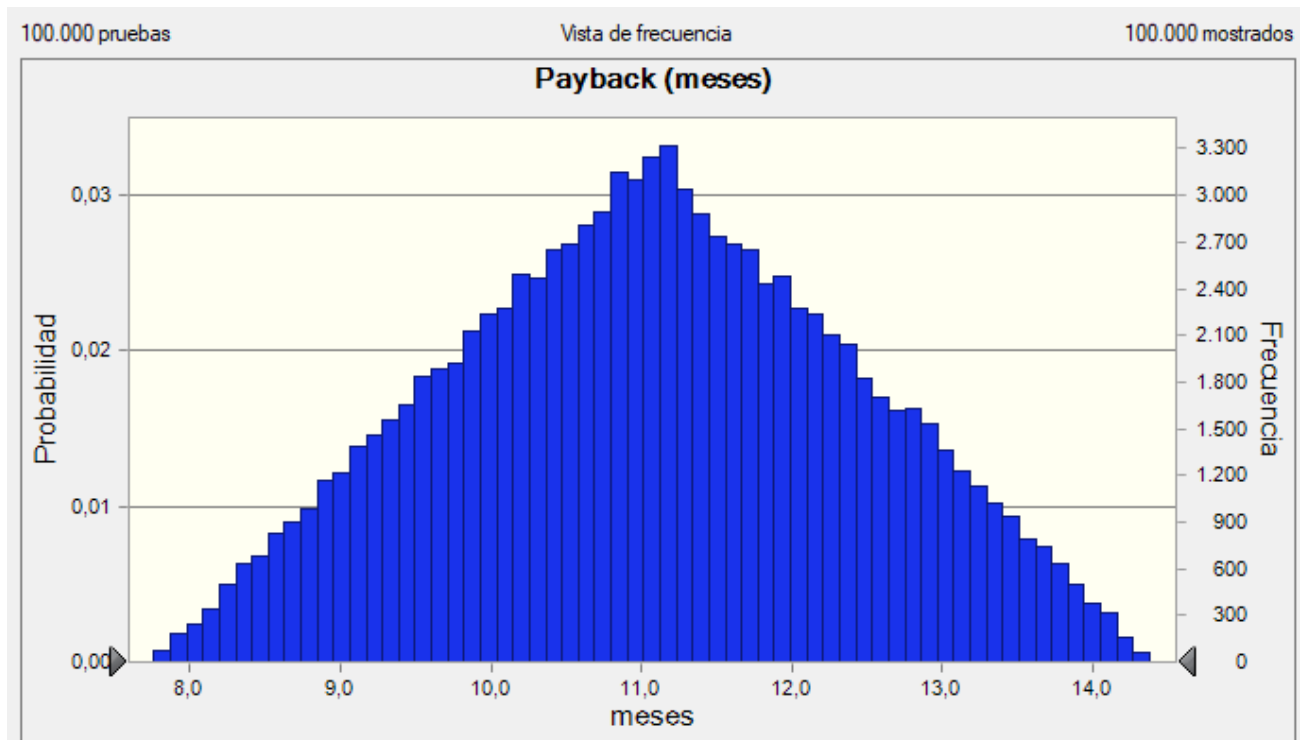
Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 26: Estadísticas TIR simulación de montecarlo

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	100.000
Caso base	108%
Media	110%
Mediana	108%
Modo	---
Desviación estándar	14%
Varianza	2%
Sesgo	0,5071
Curtosis	2,76
Coefficiente de variación	0,1308
Mínimo	82%
Máximo	155%
Error estándar medio	0%

Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 27: Simulación de Montecarlo Payback



Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel

Anexo 28: Estadísticas Simulación de Montecarlo Payback

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	100.000
Caso base	11,1
Media	11,1
Mediana	11,1
Modo	---
Desviación estándar	1,4
Varianza	1,8
Sesgo	0,0056
Curtosis	2,39
Coefficiente de variación	0,1227
Mínimo	7,8
Máximo	14,4
Error estándar medio	0,0

Fuente: Fuente: Elaboración Propia mediante Crystal Ball de Excel