

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

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO

**PROPUESTA DE MEJORA TECNOLÓGICA PARA MAQUINA APILADOR
STACKER.**

Trabajo de titulación para optar al título
profesional de Ingeniero de Ejecución en
Control e Instrumentación Industrial

Alumno:

Pedro Ignacio Urra Jara

Profesor guía:

Nelson Vásquez Concha

Profesor correferente:

Graciela Sandoval Álvarez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: *EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO PROPUESTA DE MEJORA TECNOLÓGICA PARA MAQUINA APILADOR STACKER.*

Nombre del candidato(a): *Pedro IGNACIO Urra Jara.*

Carrera / Grado: *INGENIERÍA DE EJECUCIÓN EN CONTROL e INSTRUMENTACIÓN Industrial.*

Campus: *Concepcion*; Departamento: *ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA*

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, *Nelson Vásquez C.*, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: *21-10-25*; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: *21/10/25*; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Solo me queda agradecer a todas las personas que me acompañaron en este proceso de mi vida. En especial, a mi familia, a mi esposa y a mi hijo, quienes son mi mayor motivación para seguir avanzando y alcanzar nuevas metas.

También quiero dedicar un sincero agradecimiento a los amigos que conocí en este camino, jóvenes que, con valentía y espíritu de entrega, siempre estuvieron dispuestos a brindar su ayuda a quien la necesitara. Esta dinámica creó una fuerte camaradería, en la cual todos aportábamos para alcanzar los ideales que nos propusimos.

Para finalizar, quisiera citar un proverbio que refleja el sentido de este recorrido:

“Si caminas solo llegarás más rápido, pero si caminas acompañado llegarás más lejos.”

2025

RESUMEN

El presente trabajo analiza el funcionamiento del sistema de apilador automático Stacker dentro de la planta, identificando las debilidades que generan pérdidas significativas en la producción, a partir de este diagnóstico se plantea una propuesta de una mejora tecnológica que optimice la eficiencia actual del proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA	1
PROBLEMA.	3
SOLUCIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
ALCANCES	4
RESTRICCIÓN	4
CAPITULO 1	5
1. CMPC.....	6
UBICACIÓN DEL PROYECTO	6
EXPLICACIÓN DE PROCESOS EN PLANTA.	6
LUGAR DE ESTUDIO, ÁREA DE CEPILLADO.....	9
1.1.1. MÁQUINA DE CEPILLADO	9
1.1.2. MÁQUINA DE APILADO STACKER.....	9
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.	10
1.2.1. COMPONENTES DE UN PLC.	10
1.2.2. EJECUCIÓN DEL CÓDIGO DE INSTRUCCIONES.....	11
1.2.3. PLC SLC 500.....	12
1.2.4. PLC S7-1200.....	12
1.2.5. DIFERENCIAS DE DIRECCIONAMIENTO FÍSICO.	13
TIA PORTAL.	13
1.3.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN EN PLC.	14
1.3.2. INSTRUCCIONES FUNDAMENTALES EN TIA PORTAL.	14
1.3.3. MEMORIAS.....	15
1.3.4. PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA.	15
1.3.5. BLOQUE ESPECIAL HSC.....	16
1.3.6. MECANISMO DE CONEXIÓN PUT / GET.	16
1.3.7. TIPO DE ACCESOS A UN BLOQUE DE INSTANCIA (DB)	17
1.3.8. RELACIÓN ENTRE PUT /GET Y ACCESO NO OPTIMIZADO.	17
1.4.1. P&ID.	17
1.5.1. SENSORES.....	18
1.5.2. SENSORES DE DETECCIÓN.....	18
1.5.3. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO.	19
ENCODER ABSOLUTO	19
1.6.1. ACTUADORES.	21
1.6.2. MOTOR ELÉCTRICO.....	21
1.6.3. MOTOR HIDRÁULICO.....	21

1.6.4.	CILINDRO HIDRÁULICO.	22
1.7.1.	OPC MATRIKON.	22
1.7.2.	PROTOCOLO USADO PARA LA CONEXIÓN.	22
1.7.3.	FUNCIONAMIENTO CON SIEMENS.	23
1.8.1.	DEFINICIÓN DE IOT.	23
CAPITULO 2 _ Análisis sistema actual.		24
2.	PROCESO DE APILADO EN MAQUINA STACKER.	25
EQUIPAMIENTO ACTUAL.		27
2.1.1.	PLC SLC 500.	27
2.1.2.	SENSORES EN LÍNEA STACKER.	28
2.1.3.	SENSORES DE CONJUNTO HIDRÁULICO.	29
2.1.4.	SEÑALES DE CONTROL Y COMUNICACIÓN USADAS.	30
ANÁLISIS DE DETENCIÓN.		30
BÚSQUEDA DE SOLUCIONES A FACTORES DE FALLA.		32
REQUISITOS PARA LA BÚSQUEDA DE EQUIPOS NUEVOS.		34
2.2.1.	REQUISITOS PARA LA ELECCIÓN DE NUEVO PLC.	34
2.2.2.	REQUISITOS PARA LA ELECCIÓN DE NUEVO ENCODER MEDIDOR DE LONGITUD.	35
CARACTERÍSTICAS DE EVALUACIÓN DE NUEVO PLC Y HMI.		35
CREACIÓN DE TABLA DE PUNTAJES.		36
EQUIPOS PLC ´S PROPUESTOS.		37
2.3.1.	PROPUESTA 1_ Allen bradley.	37
2.3.2.	PROPUESTA 2_ Siemens.	39
ELECCIÓN POR ANÁLISIS CUALITATIVO DE EQUIPOS POR PUNTOS.		42
2.3.3.	RESULTADO DE TABLA COMPARATIVA.	42
2.4.1.	CARACTERÍSTICAS DE EVALUACIÓN DE NUEVO SENSOR MEDIDOR DE LONGITUD.	43
2.4.2.	CREACIÓN DE TABLA DE PUNTAJES.	44
ELECCIÓN POR ANÁLISIS CUALITATIVO DE ENCODER POR PUNTOS.		47
2.4.4.	RESULTADO DE TABLA COMPARATIVA.	48
PROPUESTA DE SOLUCIÓN.		49
CAPITULO 3 _ Propuesta de mejoras y validación experimental.		51
MIGRACIÓN DE LÓGICA.		52
3.1.1.	ANÁLISIS DE LÓGICA BASE.	53
REASIGNACIÓN DE VARIABLES.		55
3.1.2.	ENTRADAS Y SALIDAS.	55
3.1.3.	TEMPORIZADORES.	55
3.1.4.	REDISEÑO EN TIA PORTAL V19.	57
3.1.5.	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE MIGRACIÓN.	58
3.1.6.	RESULTADO DE MIGRACIÓN.	60

INCORPORACIÓN DE MEDICIÓN DE LONGITUDES Y VISUALIZACIÓN LOCAL.....	61
3.2.1. CONFIGURACIÓN HSC EN TIA PORTAL.	61
3.2.2. INTEGRACIÓN CON LÓGICA DE CONTROL.	63
3.2.3. CONVERSIÓN DE PULSOS A LONGITUD.....	65
3.2.4. CÁLCULOS DE CUBICACIÓN Y VARIABLES DE PROCESOS.....	66
3.2.5. VISUALIZACIÓN LOCAL HMI.	67
3.2.6. RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE LONGITUD.....	68
CONEXIÓN CON MATRIKON OPC.	69
3.3.1. HABILITACIÓN DE MECANISMO DE CONEXIÓN.....	69
3.3.2. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE CONEXIÓN A MATRIKON OPC.....	72
CAPITULO 4 _Evaluación económica.	74
ESTIMACIÓN DE MATERIAL APILADO EN EL STACKER.	75
4.1.1. DETERMINACIÓN DE ANCHO Y ALTURA.	75
4.1.2. CÁLCULO EN m^3 DE SUPERFICIE ÚTIL EN APILADOR STACKER.....	76
4.1.3. VALORES DE PRODUCCIÓN.....	77
4.1.4. PERDIDA ASOCIADA A DETENCION POR SATURACION.	78
EVALUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL.	78
4.2.1. ANÁLISIS DEL PERSONAL ACTUAL.	79
4.2.2. ANÁLISIS DE EQUIPOS ACTUALES.	79
4.2.3. MANTENCIÓN.	80
4.2.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL.	81
4.2.5. ANÁLISIS DE FLUJO DE CAJA SIN FALLA CRITICA.	81
4.2.6. ANÁLISIS DE FLUJO DE CAJA ACTUAL MÁS FALLA CRITICA.	82
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROPUESTA.....	83
4.3.1. ANÁLISIS DE EQUIPOS PROPUESTOS.	84
4.3.2. ANÁLISIS DE COSTO DEL PERSONAL.	84
4.3.3. DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS.....	85
4.3.4. TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS ASOCIADOS.....	86
4.3.5. ANÁLISIS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA PROPUESTA.	86
COMPARATIVA DE PROPUESTAS.	88
CONCLUSIÓN.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-2_ Transformación de madera cepillada.	7
FIGURA 1-3_ PC escáner, defectos madera y Block's cortados.	7
FIGURA 1-4_ Perfilado y unión de Block's en finger joint.	8
FIGURA 1-5_ Madera clear a moldura terminada.....	8
FIGURA 1-6_ Apilador Stacker.	10
FIGURA 1-7_ Ejecución de lógica.	12
FIGURA 1-8_ Tabla interpretación P&ID.....	18
FIGURA 2-1_ Zona Stacker.	25
FIGURA 2-2_ Diagrama control.	27
FIGURA 2-3_ PLC SLC 500.....	28
FIGURA 2-4_ Sensor fotoeléctrico difuso.....	29
FIGURA 2-5_ Controlador de temperatura.	29
FIGURA 2-6_ Piezas de distinto largo.....	31
FIGURA 2-7_ Cálculo de resolución lineal.	33
FIGURA 2-8_ PLC MICRO 870.	38
FIGURA 2-8_ HMI PANELVIEW.	38
FIGURA 2-9_ PLC Siemens S7-1200.	40
FIGURA 2-10_ HMI KTP 700.	40
FIGURA 2-11_ Encoder laser.	45
FIGURA 2-12_ Encoder rotativo.	46
FIGURA 2-13_ P&ID Encoder	49
FIGURA 2-14_ P&ID con mejoras.	50
FIGURA 3-1_ Arranque / Parada en RS LOGIX 500.	54
FIGURA 3-2_ Indicación de alarma RS LOGIX 500.	54
FIGURA 3-3_ Bloque FB migrado en TIA PORTAL.	57
FIGURA 3-4_ Código interno Bloque FB migrado en TIA PORTAL.....	58
FIGURA 3-5_ Tabla de forzado en TIA PORTAL.....	59
FIGURA 3-6_ Bloque FB2 simulado en PLC SIM.....	59
FIGURA 3-7_ Tabla de forzado, detención por sensor.....	60
FIGURA 3-8_ Bloque FB comprobación de detención.	60
FIGURA 3-9_ Activación de contador rápido.	62
FIGURA 3-11_ Aplicación de filtro.	63
FIGURA 3-12_ Bloque FB1 de control encoder.	64
FIGURA 3-13_ Bloque de control HSC.....	64
FIGURA 3-14_ Cálculo de metros lineales dentro de bloque FB1.....	66
FIGURA 3-15_ Cálculos de metros cúbicos.	67
FIGURA 3-16_ Pantalla de visualización.	68

FIGURA 3-17_ Habilitación PUT/GET	69
FIGURA 3-18_ DB1 no optimizado.	70
FIGURA 3-19_ Asignación de parámetros comunicación.	70
FIGURA 3-20_ Estado de comunicación.	71
FIGURA 3-21_ Asignación de Tag	71
FIGURA 3-22_ Bloque FB1 medidor de largo.....	72
FIGURA 3-23_ Exportación de datos.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1_ Cambio de nomenclatura.....	13
TABLA 2-1_ Leyenda de la figura Zona Stacker.	25
TABLA 2-2_ características PLC SLC 500.....	28
TABLA 2-3_ Calificaciones de características.	37
TABLA 2-4_ Componentes y valores de propuesta 1.	39
TABLA 2-5_ Componentes y valores de propuesta 2.	41
TABLA 2-6_ Ponderaciones finales de elección.	42
TABLA 2-7_ Calificación de características en encoder.	44
TABLA 2-8_ Características sensor SPEETEC NCV50B.....	45
TABLA 2-9_ Componentes y valores Encoder laser.....	45
TABLA 2-10_ Características Encoder DFS60B-S4PM10000.....	46
TABLA 2-11_ Componentes y valores encoder rotativo.	47
TABLA 2-12_ Tabla de resultado de comparación.....	47
TABLA 3-1_ Traspaso de nomenclatura I/O.	55
TABLA 3-2_ Traspaso de nomenclatura temporizadores.	56
TABLA 4-1_ Medidas de madera en metros.	75
TABLA 4-2_ Cantidad de piezas apiladas en Stacker.....	76
TABLA 4-3_ Cálculo de metros cúbicos de un paquete de madera.	76
TABLA 4-4_ Cálculo de produccion total.....	77
TABLA 4-5_ Valores de cubicación.	77
TABLA 4-6_ Estimación de perdidas.	78
TABLA 4-7_ Cálculo de perdidas ante falla crítica y detenciones.	79
TABLA 4-8_ Análisis de costos del personal.	79
TABLA 4-9_ Análisis costo de equipamiento.	80
TABLA 4-10_ Análisis costo de mantenciones.....	80
TABLA 4-11_ FC. Actual.....	82
TABLA 4-12_ FC. Actual más falla critica.	83
TABLA 4-13_ Equipos propuestos.	84
TABLA 4-14_ Mejora salarial en personal fijo.	85
TABLA 4-15_ Personal transitorio por poryecto.	85
TABLA 4-16_ Disminución de pérdidas.	86
TABLA 4-17_ Costos asociados a tiempo de implementación proyecto.	86
TABLA 4-18_ Flujo de caja propuesto.	87
TABLA 4-19_ Comparativa 1.	88
TABLA 4-20_ Comparativa 2.	88

SIMBOLOGÍAS Y SIGLAS

COP: Consola de operaciones.

PLC: Controlador lógico programable.

I/O: Entradas y salidas.

TTL: Lógica transistor-transistor.

HTL: Lógica de Umbral Alto.

CC: Corriente Continua.

AC: Corriente Alterna.

LD: Diagrama Ladder.

m^3 : Metros cúbicos (volumen).

LD: Diagrama Ladder.

HSC: Contador de alta velocidad.

NO: Normalmente abierto

NC: Normalmente cerrado.

PPR: Pulso por revolución.

VAC: Valor actual de costos.

CAE: Costo anual equivalente.

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

En los entornos industriales actuales, la eficiencia y continuidad de los procesos productivos son elementos clave para mantener la calidad y competitividad. Las plantas de remanufactura de madera requieren sistemas robustos que permitan mantener un flujo constante de trabajo sin interrupciones significativas. Cualquier falla, por mínima que sea, puede desencadenar eventos que afecten directamente a la productividad, la seguridad de los operadores y el cumplimiento de las metas.

Dicho esto, se ha observado un aumento significativo de detenciones no planificadas durante este último año en el área de cepillado, lo que refleja una pérdida considerable de producción debido a tiempos de inoperatividad, obligando a realizar un estudio previo (Ver figura 1). El resultado del estudio dicta que las primeras 3 causas más frecuentes que provocan el 80% de las detenciones en el área de cepillado son: Sistema apilador saturado, aseo de maquina y pieza atascada.

En el siguiente trabajo se dará solución al problema “sistema apilador saturado” debido a que representa una suma importante de 517 detenciones, que se traduce a la pérdida de 3.427 minutos al mes.

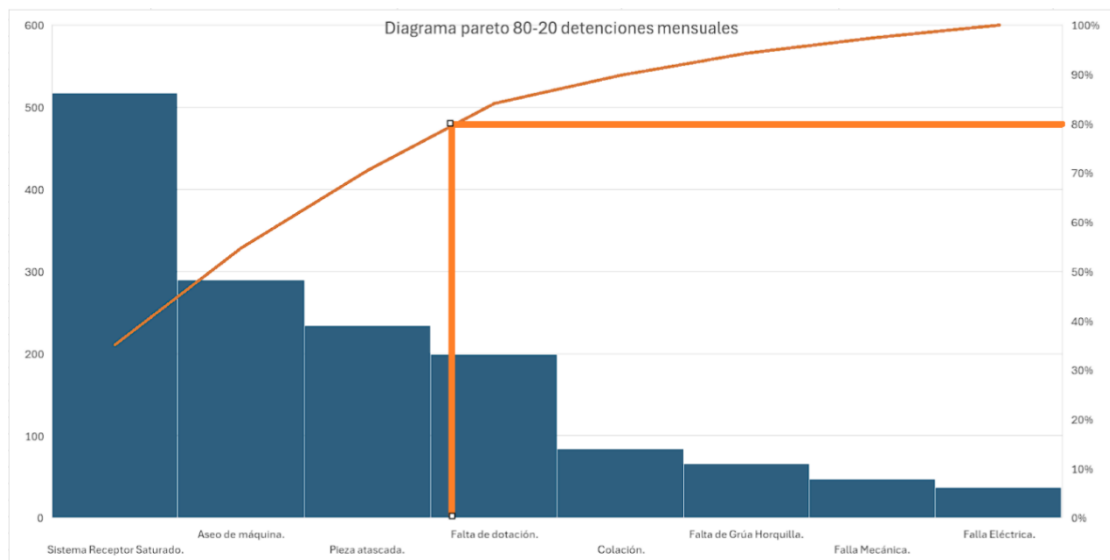


FIGURA 1-1_ Diagrama Pareto 80-20 detenciones mensuales.

El problema antes mencionado ocurre con bastante frecuencia, ya que en gran parte de la operación del subproceso stacker se debe realizar manualmente debido a su obsoleto sistema de control automatizado, lo que provoca un cuello de botella que obliga a detener la cepilladora para dar el tiempo suficiente al armado y evacuación del paquete de madera.

Para cumplir con el siguiente desafío, es necesario integrar nuevas tecnologías que entreguen soluciones para disminuir los tiempos muertos en donde, si bien la maquina está trabajando no genera producción.

PROBLEMA.

Se detectan pérdidas significativas de producción por culpa de los tiempos de inoperancia en el área de cepillado, ya que el apilador stacker no es capaz de trabajar continuamente de forma automática en el armado de paquetes. A esto se le suma la falta de repuestos en caso de una falla crítica, especialmente en su PLC que se encuentra descontinuado por parte del fabricante desde el año 2018.

SOLUCIÓN

Crear una propuesta para reemplazar el sistema de control automatizado, con el fin de garantizar la continuidad y eficiencia operacional, integrando nuevas tecnologías que proporcionen herramientas para disminuir los tiempos de detención; además de contribuir con la seguridad tanto del operador, como del proceso.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una nueva propuesta de control automatizado para el subproceso del apilador Stacker que reemplace su controlador, e integrando sensores que permitan una operación continua y confiable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el sistema de control actual identificando su función, limitaciones y su impacto en las detenciones del proceso.
- Evaluar una nueva alternativa de hardware (PLC y sensores) para la modernización, considerando criterios técnicos.
- Estimar factibilidad de propuesta de proyecto de automatización mediante estudio económico.

ALCANCES

- Diseño de una propuesta de modernización con su respectiva evaluación técnico-económica.
- Entregar una propuesta teórica que solucione la pérdida de tiempos de detenciones provocados por el apilador Stacker.

RESTRICCIÓN

- Políticas de la empresa que restringen la intervención en infraestructura y funcionamiento de equipos.
- Política de confidencialidad sobre el código original de control del apilador Stacker.
- Acceso restringido a valores de productos fabricados en la empresa.

CAPITULO 1 _ Marco teórico

1. CMPC

La Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones es fundada el 12 de marzo de 1920, reconocida a nivel nacional y mundial por la fabricación de diferentes productos en sus distintas filiales. En la región del Bio-Bio se encuentran plantas de celulosa, las cuales son encargadas de producir celulosa para papeles, cartones y sus derivados. Además de las plantas de madera, como aserraderos y remanufacturas, las cuales producen madera dimensionada para la construcción. Por otra parte, su amplio patrimonio forestal cuenta con bosques donde se obtienen y gestionan las distintas materias primas usadas para todos sus procesos.

UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se sitúa en el área de cepillado dentro de la planta de remanufactura de CMPC, ubicada a 15 km de la ciudad de Los Ángeles. La planta se encarga de fabricar paneles y molduras a partir de madera finger joint; para realizar dicho objetivo se debe llevar la madera por diversos procesos, los cuales parten por la línea de cepillado y continúan con trozado automático, Finger Joint y finalmente destinado a la fabricación de paneles o molduras.

EXPLICACIÓN DE PROCESOS EN PLANTA.

PROCESO DE CEPILLADO: Encargado de eliminar las irregularidades y encuadrar los 4 bordes dejando un acabado lizo para obtener el mayor provecho de la madera. (Ver figura 1-2) Este proceso es la puerta de entrada de la materia prima a las líneas de producción.



FIGURA 1-2_ Transformación de madera cepillada.

PROCESO DE TROZADO: Los tablones ya cepillados son ingresados por un escáner de Rayos X (Ver figura 1-3), el cual toma fotografías externa e interna de la madera. El equipo procesa las imágenes obtenidas y designa los cortes necesarios para eliminar nudos, canto muerto, deformidades y otros defectos. Los trozos útiles llamados block's, se almacenan dentro de cajas metálicas llamadas "bins", para ser usados mientras que las imperfecciones se eliminan en una maquina astilladora.



FIGURA 1-3_ PC escáner, defectos madera y Block's cortados.

PROCESO FINGER JOINT: Los block's son traídos a las maquinas finger por medio de cintas transportadoras (Ver figura 1-4), una vez dentro de la línea son encuadrados por un medidor sierra y perfilados horizontalmente con elementos de corte giratorios, creándoles pequeños dientes de unión, los cuales se encolan y se prensan para formar una nueva tabla de alta calidad, sin nudos ni defectos llamada "Madera clear".

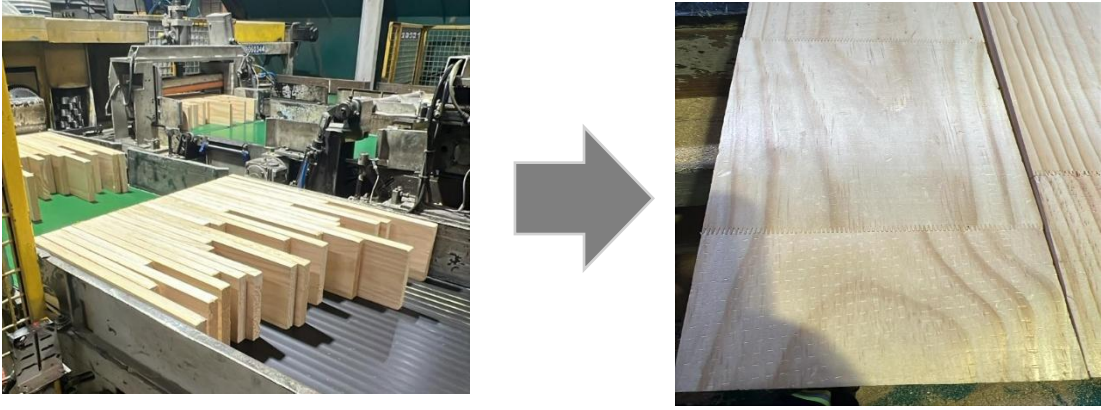


FIGURA 1-4_ Perfilado y unión de Block's en finger joint.

PROCESO DE MOLDURAS: Estas máquinas son capaces de crear diferentes tipos de molduras a partir de cuchillos especiales que trabajan desbastando la madera, de esta manera se tallan diferentes formas y figuras (Ver figura 1-5). Es aquí donde finaliza el proceso productivo, una vez terminada la moldura se empaca y se transporta a los puertos para su posterior comercialización.



FIGURA 1-5_ Madera clear a moldura terminada.

LUGAR DE ESTUDIO, ÁREA DE CEPILLADO.

El área de cepillado se compone de dos máquinas conectadas entre sí, la cepilladora Yates y el apilador Stacker, esta conexión se logra por medio de cadenas y cintas de transporte, las cuales distribuyen la madera desde la entrada de la cepilladora hasta la salida del Stacker. A continuación, se detalla la función e historia de ambas máquinas principales de esta área.

1.1.1. MÁQUINA DE CEPILLADO.

La cepilladora YATES (EE. UU.), se encuentra en funcionamiento desde el año 1988 en la planta; a lo largo del tiempo ha sufrido varias modificaciones, como cambio de motores de CC a AC, integración de PLC y de partidores suaves a motores. Su función es eliminar defectos en la madera originados en aserraderos y encuadrar con medidas predefinidas, así se garantiza una pieza de madera cepillada limpia y uniforme. Esta acción es necesaria, aumenta el aprovechamiento de la materia prima en los siguientes procesos.

En reiteradas ocasiones se ha querido innovar en una nueva cepilladora, obteniendo como resultado el no ejecutar dichos proyectos, ya que su robustez permite alcanzar cepillados de alta calidad en maderas muy defectuosas.

1.1.2. MÁQUINA DE APILADO STACKER.

En línea con la cepilladora, se encuentra el subproceso de apilado de madera llamado por su nombre en inglés Stacker, el cual se encuentra en funcionamiento desde 1996. Su función es formar un paquete de madera, que es un conjunto ordenado de madera apilada verticalmente (Ver figura 1-6), para ser amarrado y transportado por una grúa al siguiente proceso dentro de la planta.

La importancia de integrar este equipo a la línea de cepillado fue eliminar el esfuerzo físico de los colaboradores, ya que resulta riesgoso generando posibles golpes, aplastamiento de dedos y trastornos esqueleto-muscular debido al peso, el ancho y el largo de la madera.

Con dicha automatización, en su tiempo se logró formar paquetes de mayor altura y con distintos espesores; generando como consecuencia un incremento en los volúmenes producidos por la cepilladora.



FIGURA 1-6_ Apilador Stacker.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

También conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controllers), es un componente electrónico diseñado para el control en entornos industriales. Su funcionamiento se basa en supervisar y dirigir sistemas electromecánicos de forma digital en base a decisiones lógicas.

1.2.1. COMPONENTES DE UN PLC.

Unidad central de procesamiento (CPU): Interpreta el programa de control cargado y ejecuta las instrucciones.

Las Entradas: Son componentes capaces de recibir de distintas formas las variables eléctricas al PLC, estas son entregadas por elementos de campo como sensores, pulsadores, interruptores y encoders para el procesamiento del Código lógico. Dentro de los tipos de entradas se encuentran:

- Entradas digitales: Se encargan de recibir señales eléctricas de voltajes discretos que se procesan con valores de 1 y 0.

- Entradas análogas: Estas se encargan de recepcionar señales continuas que pueden tomar valores intermedios de voltaje o corriente.
- Entradas de HSC: Por sus siglas en ingles High Speed Counter, estas son entradas especiales configurables que trabajan sobre las entradas digitales, su función es contar en alta velocidad pulsos entregados convencionalmente por sensores del tipo encoder para el control de posición, velocidad o dirección.

Salidas: Envían señales eléctricas de activación o desactivación a actuadores como relés, válvulas, motores, luces piloto, etc. Existen del tipo:

- Salidas digitales: Envían señales de voltaje lógicas de 1 y 0, entendiendo que cuando esta se encuentra en 1 se envía un voltaje al actuador y un 0 a la ausencia de voltaje.
- Salidas análogas: Se encarga de enviar una señal continua de voltaje o corriente al actuador.

Módulos de comunicación: Permiten la integración con otros dispositivos a través de protocolo industriales (Modbus, Ethernet/IP, Profibus, etc.).

Software de programación: Usado para crear, modificar y cargar programas lógicos al PLC.

1.2.2. EJECUCIÓN DEL CÓDIGO DE INSTRUCCIONES.

Comienzan con las lecturas de las señales de entradas, las cuales son almacenadas temporalmente en su memoria, dichas señales son procesadas mediante un código lógico previamente cargado en su CPU, el cual determina las acciones a ejecutar enviando señales a las salidas, estas activan o desactivan diversos elementos de accionamientos (Ver figura 1-7). Este ciclo se repite constantemente a gran velocidad, lo que permite al sistema responder rápidamente a cambios del entorno.

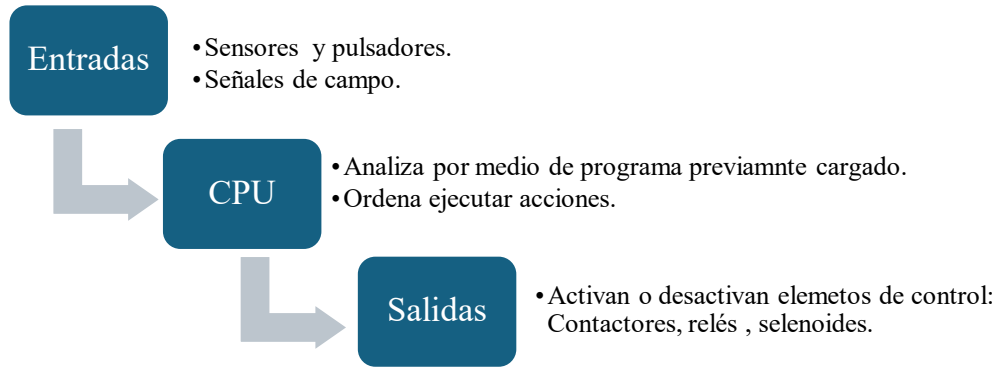


FIGURA 1-7_ Ejecución de lógica.

1.2.3. PLC SLC 500.

La línea de controladores lógicos programables SLC 500, desarrollada por Allen-Bradley (actualmente Rockwell Automation), fue introducida en la década de 1990 como una solución confiable y ampliamente adoptada en la automatización industrial. Su arquitectura modular, basada en un chasis fijo con capacidad para incorporar tarjetas de entradas y salidas, permitió escalar el sistema de acuerdo con las necesidades de control. No obstante, tras más de dos décadas de uso, este PLC fue oficialmente discontinuado por el fabricante en 2018.

1.2.4. PLC S7-1200.

La línea de controladores lógicos programables S7-1200 de Siemens, fue introducida al mercado en el año 2009 como reemplazo natural de los modelos S7-200, ofreciendo mayores capacidades tales como comunicación, flexibilidad y potencia de procesamiento. Su diseño se caracteriza por un formato compacto, en el cual es posible acoplar lateralmente módulos de entradas y salidas, eliminando la dependencia de un chasis fijo como ocurría en generaciones anteriores. Esta arquitectura modular permite adaptar el sistema a distintos requerimientos de automatización con una mayor facilidad de expansión. Actualmente, la familia S7-1200 se encuentra en ciclo de vida activo, lo que garantiza disponibilidad de repuestos, actualizaciones de firmware y soporte técnico por parte de Siemens.

1.2.5. DIFERENCIAS DE DIRECCIONAMIENTO FÍSICO.

En el PLC Allen-Bradley SLC 500, la nomenclatura de las direcciones sigue un esquema basado en registros. Las entradas se identifican con la letra I (Input) y las salidas con la letra O (Output), la estructura se interpreta de la siguiente manera: El número situado antes de la barra indica la tarjeta física instalada en el chasis, mientras que el número posterior señala la posición específica de conexión. Adicionalmente, cada contacto puede complementarse con la referencia al modelo de la tarjeta.

Por su parte, en el PLC Siemens S7-1200, el direccionamiento conserva la lógica de diferenciar entradas y salidas mediante letras específicas (I para entradas y Q para salidas). Para realizar el direccionamiento usa el primer número para identificar la tarjeta y el segundo a la posición de conexión dentro del byte asignado, ya que Siemens organiza el direccionamiento en bloques de bytes consecutivos.

Ambos fabricantes emplean un principio semejante (Ver tabla 1-1), aunque con lógicas distintas: el SLC 500 con direccionamiento por registros individuales y el S7-1200 con empaquetamiento por bytes.

PLC SLC 500	PLC S7-1200.
Entrada I: 0/0	Entrada I 0.0
Salida O: 0/0	Salida Q0.0

TABLA 1-1_Cambio de nomenclatura.

TIA PORTAL.

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es el entorno de programación desarrollado por Siemens para la configuración, programación y diagnóstico de sus dispositivos de automatización. Este software centraliza en una misma plataforma la creación de códigos, la gestión de hardware y la supervisión de proyectos industriales.

1.3.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN EN PLC.

Para entregar instrucciones a un PLC es necesario utilizar el software específico del fabricante junto con un lenguaje de programación. La norma IEC 61131-3 se estableció para estandarizar los lenguajes de programación de controladores, independientemente de la marca o fabricante, garantizando facilidad de aprendizaje.

Entre los lenguajes definidos, uno de los más utilizados es el Ladder Diagram (LD) o diagrama de escalera, denominado así por su semejanza visual con una escalera donde las líneas verticales representan la alimentación y las horizontales las instrucciones lógicas. Su diseño original buscaba ser comprendido por técnicos eléctricos, razón por la cual mantiene una representación gráfica simple basada en contactos (entradas) y bobinas (salidas).

1.3.2. INSTRUCCIONES FUNDAMENTALES EN TIA PORTAL.

El lenguaje Ladder, como medio de programación dispone de un conjunto amplio de instrucciones diseñadas para representar la lógica de manera gráfica. Entre estas, existen elementos que constituyen la base de cualquier aplicación, las cuales son:

Contactos: Normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC), permiten evaluar condiciones binarias en las entradas digitales.

Bobinas: Estas actúan como salidas digitales para activar dispositivos o memorias internas.

Temporizadores: En Tia portal su presentación sencilla permite una programación más rápida, se bautiza bajo un nombre específico al bloque y se designa una instancia de memoria individual para almacenar sus datos, los temporizadores son:

1. TON (Temporizador a la conexión): Retrasa la activación de la salida.
2. TOF (Temporizador a la desconexión): Retrasa la desactivación de la salida.
3. TP (Temporizador de pulso): Genera un pulso de duración fija cuando la entrada se activa.

Su estructura contempla un IN entrada que da inicio al temporizador, PT donde se configura el tiempo preseleccionado, la salida Q y el ET donde se mide el tiempo transcurrido.

Contadores ascendentes (CTU): Permiten registrar eventos discretos y almacenarlos para llevar la cuenta de piezas procesadas o ciclos ejecutados.

1.3.3. MEMORIAS.

En los PLC, además de las entradas y salidas físicas, existe un conjunto de áreas internas de memoria que cumplen un rol esencial en la programación; estas memorias permiten guardar estados, conservar valores numéricos o almacenar parámetros definidos por el usuario. Dentro del entorno TIA Portal, las memorias se gestionan a través de distintos tipos de recursos, entre los que destacan las marcas de memoria (M), las palabras y dobles palabras (MW, MD); cada uno de estos elementos ofrece un nivel distinto de almacenamiento.

Marcas de memoria (M): Se identifican con la letra M y corresponden a posiciones internas del PLC que se emplean para guardar estados lógicos; a diferencia de las entradas y salidas, no están asociadas a un dispositivo físico, sino que funcionan como variables auxiliares para reforzar la lógica del programa.

Palabra y doble palabra: Las memorias también pueden organizarse en unidades mayores, tal es el caso de palabras (MW) de 16 bits y dobles palabras (MD) de 32 bits. Estas permiten trabajar con datos numéricos, acumuladores o resultados de operaciones matemáticas, extendiendo la capacidad del PLC más allá de simples variables booleanas.

1.3.4. PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA.

La evolución de los lenguajes de programación en PLC ha conducido a la utilización de técnicas que permiten mejorar la organización de los códigos. Dentro de TIA Portal, esta tendencia se refleja en la programación estructurada, que permite dividir la lógica en bloques funcionales reutilizables; de esta manera se evita la creación de programas lineales y planos difíciles de entender favoreciendo a la claridad, trazabilidad y escalabilidad del código.

Los FB (Función Block): Son rutinas que encapsulan una parte de la lógica y disponen de memoria propia para guardar datos asociados a cada instancia. Esto significa que un mismo bloque puede ser reutilizado múltiples veces en diferentes secciones del programa, conservando valores independientes en cada caso.

Las FC (Función): Son bloques que, a diferencia de los FB no retienen memoria propia. Su propósito es ejecutar cálculos o acciones que no requieren guardar estados intermedios. Son ideales para operaciones matemáticas, conversiones de datos o rutinas de verificación lógica.

Los bloques de datos (DB): Son estructuras específicas destinadas para guardar variables definidas por el usuario, permite asociar memoria directamente a bloques de funciones (FB).

1.3.5. BLOQUE ESPECIAL HSC.

Dentro de la programación del PLC, además de las funciones básicas y estructuradas, existen bloques especiales que permiten aprovechar al máximo las capacidades del hardware. Uno de los casos más relevantes es el HSC (High Speed Counter) recurso ampliamente utilizado, donde se requieren registrar movimientos, longitudes o posiciones con elevada exactitud; este permite procesar señales digitales de alta frecuencia sin depender del ciclo de escaneo normal del PLC, a diferencia de los contadores convencionales, que se actualizan una vez por ciclo; el HSC se encuentra vinculado directamente al hardware del procesador, lo que garantiza la captura precisa de cada pulso incluso en situaciones de elevada velocidad.

En TIA Portal, el HSC se configura como un bloque funcional que reserva direcciones de memoria específicas, habitualmente en formato de palabra doble (Dword) para almacenar el conteo; de este modo el programador puede acceder de manera simbólica a estas variables y combinarlas con la lógica general del sistema.

1.3.6. MECANISMO DE CONEXIÓN PUT / GET.

PUT y GET son instrucciones de comunicación en los PLC Siemens, que permiten el intercambio directo de datos entre controladores. La instrucción GET se utiliza para leer información desde otra CPU o dispositivo remoto y almacenarla en el PLC local, mientras que PUT se emplea para escribir datos desde el PLC local hacia una CPU remota. En otras palabras, GET “trae” datos y PUT “envía” datos, lo que facilita la sincronización y el

intercambio de variables o bloques de datos entre diferentes equipos dentro de una red industrial.

1.3.7. TIPO DE ACCESOS A UN BLOQUE DE INSTANCIA (DB)

Los bloques de datos pueden configurarse con acceso estándar o acceso optimizado. En el modo estándar, cada variable tiene una dirección fija (offset) dentro del bloque, lo que permite acceder a ella de forma absoluta, pero puede generar problemas si se modifica la estructura del bloque, ya que cambian las direcciones. En el modo optimizado, en cambio, las variables no se referencian por direcciones absolutas, sino de manera simbólica, lo que mejora la eficiencia, la seguridad y evita espacios de memoria desperdiciados.

1.3.8. RELACIÓN ENTRE PUT /GET Y ACCESO NO OPTIMIZADO.

Las instrucciones PUT y GET se ven directamente afectadas por el tipo de acceso configurado en los bloques de datos. Con bloques estándar (no optimizados) cada variable tiene un offset fijo, lo que facilita a PUT/GET leer o escribir datos preseleccionados de memoria. En los bloques optimizados, en cambio, no existen direcciones preestablecidas accesibles, solo referencias simbólicas; esto mejora la eficiencia, pero limita el uso de PUT/GET, ya que estas instrucciones dependen de posiciones fijas de memoria, por ello, en aplicaciones con comunicación PUT/GET suele preferirse el acceso estándar para garantizar compatibilidad y estabilidad.

1.4.1. P&ID.

Un diagrama P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) es una herramienta fundamental en la ingeniería de procesos, ya que permite representar de manera gráfica y estandarizada cómo se interconectan los distintos equipos, tuberías e instrumentos de control en un sistema industrial; a través de símbolos normalizados, este tipo de diagrama traduce el proceso real en un esquema comprensible, donde se identifican variables medidas, así como sus funciones de lectura y salida.

	PRIMERA LETRA		LETRAS SIGUIENTES		
	VARIABLE MEDIDA O INDICADA	MODIFICADOR	FUNCIÓN DE LECTURA O PASIVA	FUNCIÓN DE SALIDA	MODIFICADOR
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, combustión		Elección del Usuario	Elección del Usuario	Elección del Usuario
C	Elección del Usuario			Control	
D	Elección del Usuario	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor (Elemento Primario)		
F	Flujo	Relación (Fracción)			
G	Elección del Usuario		Vidrio, Dispositivo para observar		
H	Manual				Alto
I	Corriente (Eléctrica)		Indicación		
J	Potencia	Barrido			
K	Tiempo, Programación de Tiempo	Velocidad de cambio de tiempo		Estación de control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Elección del Usuario	Momentáneo			Medio, Intermedio
N	Elección del Usuario		Elección del Usuario	Elección del Usuario	Elección del Usuario
O	Elección del Usuario		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vacío		Punto de conexión (prueba)		
Q	Cantidad	Integración, Totalizador			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Análisis Mecánico, Vibración			Válvula, Dámper, Persiana	
W	Peso, fuerza		Pozo		
X	No clasificado	X Axis	No clasificado	No clasificado	No clasificado
Y	Evento, estado or Presencia	Y Axis		Relay, Compute, Convert	
Z	Posición, Dimensión	Z Axis		Driver, Actuador, Elemento final control no clasificado	

FIGURA 1-8_ Tabla interpretación P&ID.

1.5.1. SENSORES.

La automatización industrial depende en gran medida de los dispositivos de adquisición de datos, pues de ellos proviene la información que permite al controlador lógico programable (PLC) tomar decisiones en tiempo real. Entre estos, destacan los sensores de presencia y los encoders, cuya correcta selección e integración resulta crítica para la fiabilidad del proceso.

1.5.2. SENSORES DE DETECCIÓN.

Tipo fotoeléctricos difusos:

Funcionan mediante la emisión de un haz de luz (generalmente infrarrojo o láser) desde un emisor integrado, cuando un objeto se encuentra dentro del alcance del haz refleja la luz hacia el propio receptor del sensor, que se encuentra alojado en el mismo cuerpo del dispositivo.

fotoeléctricos barrera:

Es uno de los tipos más simples y robustos de sensores ópticos. Consiste en dos unidades separadas: un transmisor, que emite un haz de luz, y un receptor, que lo recibe; cuando un objeto interrumpe ese haz luminoso entre el transmisor y el receptor, se detecta la presencia del objeto mediante la ausencia del haz y el sensor genera una señal de salida.

1.5.3. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO.

La medición del desplazamiento constituye una de las variables más relevantes, ya que permite determinar posiciones, longitudes y movimientos con la precisión necesaria para garantizar la calidad y seguridad del proceso. Los sensores de desplazamiento cumplen justamente este rol, traduciendo el cambio físico del movimiento en una señal eléctrica interpretable por el PLC, que posteriormente se integra en la lógica de control.

Estos dispositivos abarcan una amplia variedad de tecnologías como: ópticas, magnéticas, inductivas y encoder. Su elección depende de factores como su construcción, la resolución requerida y las condiciones de terreno. Dicho esto, En el contexto de este proyecto, por su capacidad de resolución los encoders se hacen indispensables para las labores de censado de desplazamiento, de esta manera se convierten en un eslabón esencial entre el mundo físico y el sistema de control digital.

ENCODER ABSOLUTO

Es un dispositivo de medición que entrega en cada posición de su eje un valor digital único asociado a una palabra binaria. El encoder absoluto codifica la posición en su propio disco óptico o magnético mediante pistas organizadas en códigos, generalmente el binario, de este modo cada ángulo de giro corresponde a una combinación fija de bits, lo que permite conocer la posición exacta del eje en cualquier instante, incluso después de una pérdida de energía o un reinicio del sistema.

ENCODERS INCREMENTALES.

Permiten transformar desplazamientos mecánicos en información digital precisa. Cada pulso generado por el giro de su eje corresponde a una fracción de desplazamiento lineal. En combinación con la rueda de medición, este dispositivo posibilita calcular longitudes de forma continua. Su integración con los contadores rápidos (HSC) del PLC asegura que los pulsos no se pierdan a pesar de las altas velocidades de operación.

CONVERSIÓN METROS LINEALES CON UN ENCODER.

La conversión de movimiento rotacional a desplazamiento lineal es una de las aplicaciones más frecuentes de los encoders incrementales en la industria. El principio de funcionamiento se basa en acoplar el eje del encoder a una rueda de medición o directamente a un eje de transporte, de manera que cada vuelta completa corresponda a una longitud determinada.

Para determinar el desplazamiento a partir de un encoder, es necesario considerar ciertos factores que permiten la digitalización de la información mecánica en datos numéricos; uno de los más importantes es la circunferencia de la rueda de medición, ya que establece la relación directa entre el giro del eje y la distancia recorrida en metros lineales.

La circunferencia corresponde a la longitud de una vuelta completa de la rueda y se calcula mediante la expresión:

$$C = \pi \cdot d$$

$$c = \pi \cdot 200(mm) = 628(mm)$$

En donde: C = circunferencia (mm); d = diámetro de la rueda (mm); $\pi \approx 3,1416$.

Una vez determinada la circunferencia de la rueda de medición, es posible calcular la resolución lineal del encoder, dado que el dispositivo está diseñado con un número fijo de pulsos por revolución (PPR), basta con dividir la circunferencia entre dicho valor. De este modo, cada pulso emitido por el encoder equivale a una fracción de desplazamiento lineal, expresada como:

$$\text{Resolución lineal} = \frac{c}{\text{PPR}}$$

Ejemplo aplicado

- Encoder: 10.000 PPR
- Rueda: 200 mm de diámetro $C = 628 \text{ mm}$

$$\text{Resolución lineal} = \frac{628 \text{ mm}}{10.000} = 0,0628 \text{ mm/pulso}$$

La alta resolución alcanzada asegura que incluso desplazamientos muy pequeños de la madera sean detectados con precisión. Esto permite que el cálculo de la longitud sea altamente confiable, reduciendo errores asociados a aproximaciones.

1.6.1. ACTUADORES.

Un actuador, es un dispositivo que convierte una señal de control (eléctrica, neumática o hidráulica) en una acción física o mecánica. En otras palabras, es el "músculo" del sistema que ejecuta movimientos, fuerzas o acciones sobre el proceso.

1.6.2. MOTOR ELÉCTRICO.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias, que transforman la energía eléctrica en energía mecánica de rotación en un eje. Su funcionamiento se basa en las fuerzas de atracción y repulsión provocadas entre un imán y un conductor (bobina), por donde circula una corriente eléctrica.

1.6.3. MOTOR HIDRÁULICO.

Componente hidráulico que proporciona torque a una determinada velocidad de giro. Pueden utilizarse para reemplazar un trabajo manual o utilizarse en lugares donde un motor eléctrico no es viable, ya sea porque no hay fuente de energía eléctrica disponible o por ser zonas de trabajo húmedas.

1.6.4. CILINDRO HIDRÁULICO.

Un cilindro hidráulico es un sistema que transforma la energía de un fluido hidráulico presurizado en movimiento lineal. Para dicha transformación, el cilindro hidráulico usa un embolo hidráulico que se desliza dentro de un tubo encamisado, trasladando la presión de dicho fluido a un vástago, elemento que transmite la fuerza mecánica.

1.7.1. OPC MATRIKON.

Un Servidor OPC es una aplicación de software que permite la comunicación estandarizada entre dispositivos de planta (PLCs, módulos de I/O, controladores, etc.) y sistemas de supervisión como SCADA, HMI o aplicaciones de gestión. Su función principal es traducir los protocolos propietarios de cada equipo a un formato común definido por las especificaciones OPC, de manera que cualquier cliente compatible pueda acceder a los datos en tiempo real o históricos sin necesidad de desarrollar interfaces específicas.

Existen varios tipos de servidores según la naturaleza de los datos a intercambiar:

- OPC DA (Data Access): Datos en tiempo real.
- OPC HDA (Historical Data Access): Datos históricos almacenados.
- OPC A&E (Alarms and Events): Gestión de alarmas y eventos.
- OPC UA (Unified Architecture): Evolución moderna, multiplataforma, con mayores capacidades de seguridad, modelado de datos e interoperabilidad.

1.7.2. PROTOCOLO USADO PARA LA CONEXIÓN.

El servidor utiliza el protocolo S7 ISO sobre TCP para comunicarse con controladores Siemens, lo que es un estándar de la línea S7 para datos estructurados sobre redes TCP/IP; por medio de este protocolo, el servidor puede conectarse directamente al PLC sin requerir drivers adicionales. El servidor OPC de Matrikon para PLCs Siemens S7 ofrece conectividad confiable vía Ethernet con las familias S7-200, S7-300, S7-400 y S7-1200.

1.7.3. FUNCIONAMIENTO CON SIEMENS.

Se conecta como cliente al PLC solicitando bloques de datos (Data Blocks, etiquetas simbólicas, etc.) y exportándolos como tags accesibles para sistemas externos SCADA o HMI. Soporta la importación de símbolos de bloques de datos del proyecto STEP 7, lo que facilita mapear direcciones físicas y nombres simbólicos sin tener que definir manualmente cada tag.

1.8.1. DEFINICIÓN DE IOT.

El Internet de las Cosas (IoT) se entiende como la interconexión de dispositivos físicos capaces de recopilar, procesar y transmitir datos a través de redes digitales. Estos dispositivos, equipados con sensores, actuadores y capacidad de comunicación, permiten integrar el mundo físico con plataformas digitales, generando información en tiempo real que puede ser analizada y utilizada para la toma de decisiones.

La arquitectura IoT suele componerse de tres niveles principales:

1. Dispositivos inteligentes: Elementos como sensores de temperatura, encoders, fotoceldas o actuadores que capturan información del entorno y la convierten en datos digitales.
2. Plataformas o aplicaciones IoT en la nube: Encargadas de recibir los datos, procesarlos y aplicar técnicas de análisis o inteligencia artificial para extraer valor operativo.
3. Interfaz de usuario: Representada por aplicaciones, dashboards o sistemas HMI/SCADA, desde donde los operadores supervisan y controlan los procesos.

En el ámbito industrial, esta tecnología adquiere una relevancia particular, ya que permite optimizar la producción, habilitar el mantenimiento predictivo y mejorar la trazabilidad de los procesos.

CAPITULO 2 _ Análisis sistema actual.

2. PROCESO DE APILADO EN MAQUINA STACKER.

El proceso de apilado comienza cuando la madera proveniente de la cepilladora se traspasa a la cadena transportadora llamada Pull Área, el nombre hace referencia a su traducción al español “área de extracción”, este lugar permitía el armado manual de los paquetes de madera antes de la llegada del apilador Stacker. Las tablas transportadas con destino al sistema de apilado son transferidas nuevamente a la siguiente cadena transportadora llamada Buffer del apilador (ver figura 2-1 y tabla 2.1), es aquí donde se alinean y ordenan, transformando un grupo de tablas en una camada.

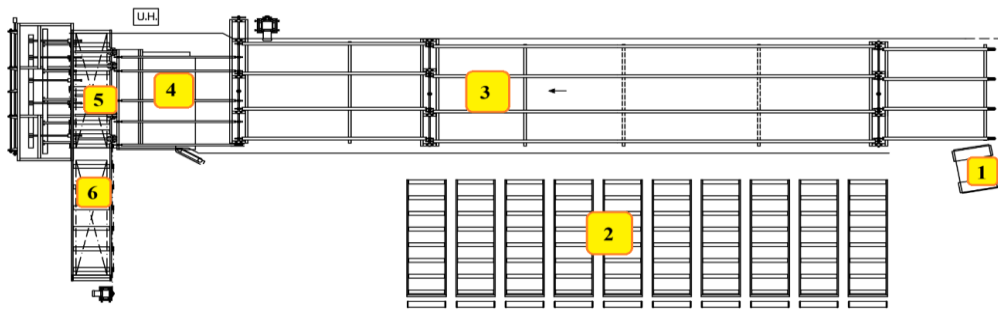


FIGURA 2-1_ Zona Stacker.

1- Recepción de madera proveniente de la cepilladora.	4- Cadenas “buffer de apilador”.
2- Apilamiento de paquetes manual.	5- Horquillas de armado.
3- Cadenas de clasificación “Pull área”.	6- Rodillos de evacuación.

TABLA 2-1_ Leyenda de la figura Zona Stacker.

Es en este momento donde comienza la función del sistema de apilado automático (Ver figura 2-2), cuando la camada formada es detectada por el segundo sensor en la línea con el nombre de “S2”, este envía una señal eléctrica al PLC, el cual toma la decisión de activar el motor hidráulico de las lanzas MH-LAN, por medio de su salida de relé, cerrando el circuito de fuerza y provocando la activación de la solenoide CV-02 en la electroválvula, iniciando el paso de aceite al circuito hidráulico y ejerciendo el movimiento responsable

del traspaso de la camada a las horquillas del apilador, una vez que las lanzas retroceden, se apaga la salida del PLC cortando el paso del aceite al motor hidráulico quedando a la espera del nuevo accionamiento; cabe señalar que todos los sensores y actuadores insertos en la línea actual trabajan bajo la misma operación antes descrita, en la cual el PLC toma la decisión a partir de su lógica programada dependiendo siempre de la activación de sensores y elementos de control (pulsadores, selectores, etc.). Al momento de que las lanzas entregan la camada sobre las horquillas, el PLC acciona las válvulas CV-03 para que el cilindro hidráulico que mueve las horquillas del apilado CH-01, baje a una distancia dada por el sensor "S3", este mismo también verifica que las horquillas estén libres para recibir una nueva camada. Este proceso se repite cíclicamente hasta que el sensor "S4" verifica que las horquillas han llegado al final de su recorrido con el paquete armado.

Para el accionamiento de los circuitos hidráulicos es necesario el funcionamiento de las bombas UH-1 y UH-2 conectadas a un estanque de aceite del tipo hidráulico, estas proporcionan la energía hidráulica a partir de energía eléctrica; dado que las bombas están conectadas mecánicamente por motores eléctricos, el control de estos es por medio de pulsadores de partida en la consola de operaciones. Por la criticidad de estos elementos, se agregaron medidas extras de protección para su detención en caso de fallas o anomalías, tales como un controlador de temperatura TC-01, el cual está conectado a una sonda PT-100; está testea constante mente la temperatura del estanque evitando un calentamiento y una posible inflamación del aceite contenido dentro, el estanque también cuenta con sensores de nivel LSH y LSL, con esto se asegura la detención en caso de que el estanque pierda aceite , evitando fallas en los componentes del circuito hidráulico.

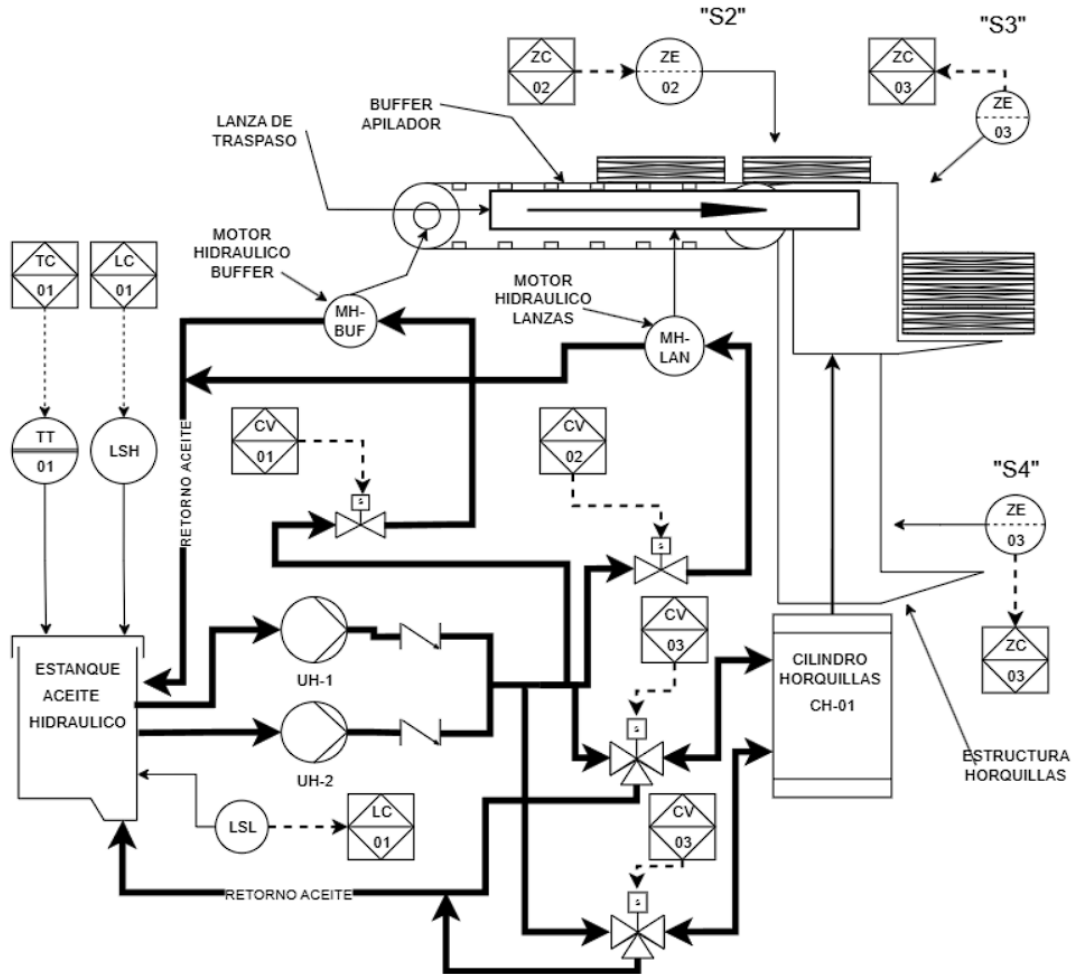


FIGURA 2-2_ Diagrama control.

EQUIPAMIENTO ACTUAL.

El análisis del equipamiento actual constituye un punto de partida para comprender las condiciones de operación del apilador Stacker.

La descripción de los controladores y sensores en uso, permiten identificar sus capacidades y limitaciones, estableciendo la base sobre la cual se proyectan las mejoras.

2.1.1. PLC SLC 500

El encargado de ejercer el control sobre el armado automático de los paquetes es el controlador lógico programable SLC 500 (Ver figura. 2-3 y tabla 2-2), dentro de su característica se encuentra: Lenguaje de programación tipo escalera (Ladder) a través de software RS Logix 500, Módulo de comunicación dh-485, confiabilidad operativa y facilidad de mantenimiento.



FIGURA 2-3_ PLC SLC 500.

Características técnicas de hardware de SLC 500 en uso.

Voltaje de alimentación	220 (v)CA.
Memoria de programación	1 Kbyte.
Puerto de comunicación	1 - DH 485.
Entradas digitales totales	24 PNP.
Salidas digitales totales	16 tipo relé.

TABLA 2-2_ características PLC SLC 500

2.1.2. SENSORES EN LÍNEA STACKER.

Los elementos de detección (sensores) insertos en la línea son de tipo óptico difuso, modelo WTB12-3P2411 (Ver figura 2-4). Este sensor fotoeléctrico de proximidad es fabricado por la marca sick, diseñado para la detección de objetos mediante el principio de reflexión difusa con supresión de fondo, esta característica lo hace especial en este proceso, al no depender de un espejo reflector o de un emisor para su funcionamiento, así también destaca su ventaja de fácil mantenimiento y reemplazo en caso de falla. Dentro de sus características técnicas se encuentra: Alcance máximo desde 20 mm hasta 600 mm, conexión vía cable armado M12, protección de circuito para polaridad inversa, supresión de interferencias y corto circuito.



FIGURA 2-4_ Sensor fotoeléctrico difuso.

2.1.3. SENSORES DE CONJUNTO HIDRÁULICO.

Se tiene instalado un controlador de temperatura (Ver figura 2-5) conectado a su respectiva sonda PT-100, censando continuamente la temperatura del aceite hidráulico en el estanque, el cual está programado para enviar una señal eléctrica al PLC para la detención de los motores eléctricos de las bombas hidráulicas cuando su temperatura aumenta más de 74 grados Celsius.

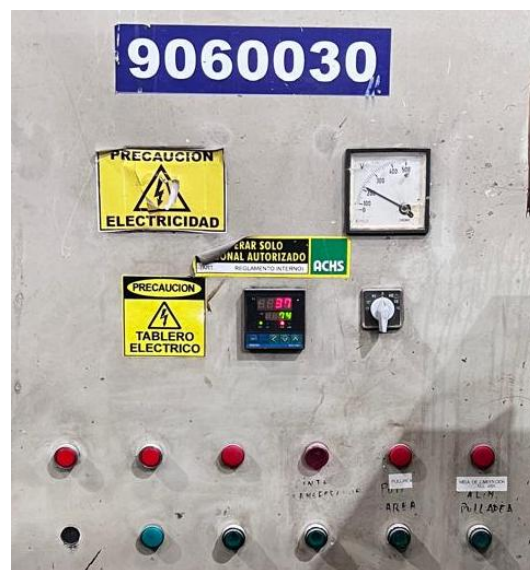


FIGURA 2-5_ Controlador de temperatura.

Para el control de nivel se usan interruptores conectados con boyas dentro del estanque, estos miden constantemente el nivel superior y el nivel inferior, cuando uno de estos interruptores se activa envían la señal al PLC para la posterior detención del conjunto hidráulico.

2.1.4. SEÑALES DE CONTROL Y COMUNICACIÓN USADAS.

El control relacionado a este proceso es del tipo on/off, que entrega al PLC señales digitales entre 1 y 0 dependiendo de si los sensores están ante la presencia de un objeto. Si bien el conjunto hidráulico cuenta con un pequeño lazo de control análogo asociado al control de temperatura, este se comunica al PLC por medio de una salida digital de tipo relé del mismo controlador. Así mismo para generar los distintos movimientos para el traspaso de la madera de un lugar a otro, el PLC envía señales digitales sobre los solenoides de las válvulas direccionales.

Cabe señalar que el PLC actual trabaja en modo isla, es decir, independiente y sin conexión con otros equipos ni redes industriales.

ANÁLISIS DE DETENCIÓN.

El problema de las detenciones continuas por la causa de saturación acumula una importante cantidad de 3.427 minutos al mes, que representa el 29,2% de pérdida en el tiempo de producción mensual.

Evaluando esta condición, se pierden 2,2 horas en una jornada laboral de 7,33 horas, la causa de la pérdida de producción se relaciona a distintos factores, los cuales pueden variar desde las acciones del operador hasta el diseño y control de la máquina en la actualidad, para esto se enumerarán y describirán los factores encontrados.

- a) FACTOR FALLA 1: El operador debe detener la máquina apiladora Stacker por razones de seguridad para ingresar a los transportadores y realizar manualmente el conteo de la cantidad y dimensiones de las piezas de madera en proceso de apilado. Esta labor es necesaria debido a las diferencias de longitud existentes entre una tabla y otra (Ver figura 2-6), lo que obliga a calcular de manera directa los metros cúbicos producidos.



FIGURA 2-6_ Piezas de distinto largo.

- b) **FACTOR FALLA 2:** Se generan pérdidas de tiempo debido a que se da prioridad al ingreso manual de los datos de producción en planillas por sobre la manipulación de variables operativas, como la partida y parada de motores. La falta de conectividad con la red OT de la planta para la adquisición automática de datos, obliga al operador a detener el proceso por razones de seguridad cada vez que debe realizar estas tareas. El PLC actual cuenta únicamente con un puerto de comunicación basado en el antiguo protocolo DH-485, lo que lo hace incompatible con sistemas modernos de IoT y con las redes industriales utilizadas actualmente.
- c) **FACTOR FALLA 3:** En el diseño original de la máquina apiladora no se contempló la incorporación de una terminal HMI, principalmente debido a su alto costo en aquella época y a que el proceso no requería un control avanzado de variables ni una gestión detallada de alarmas, como solución alternativa se implementaron luces piloto que únicamente señalaban fallas de sobrecarga en los motores. Si bien esta medida resultaba adecuada en su momento, actualmente representa una limitación significativa, ya que dificulta la visualización de otros tipos de fallas y retrasa la identificación de la causa de las detenciones.
- d) **FACTOR FALLA 4:** Suciedad en instrumentación de campo, especialmente en sensores ópticos, lo que provoca detención para realizar limpieza de estos.
- e) **FACTOR FALLA 5:** Falta de capacidad de I/O. Este es el factor más importante para tener en consideración debido a que todas las mejoras que se estimen deben integrarse a este equipo. Por la antigüedad de este, cuenta con un chasis que admite un número limitado de módulos, en este caso hasta 2 de expansión, además de que

sus módulos actuales solo son digitales. Por último, este dispositivo no cuenta con entradas de contadores rápidos en su hardware para la integración de encoder.

- f) FACTOR FALLA 6: El PLC SLC 500, discontinuado por su fabricante desde el año 2018, presenta serias limitaciones en la continuidad operativa. Ante una falla crítica, el tiempo total se incrementa significativamente a semanas de detención, debido a la dificultad para conseguir repuestos en el mercado y a la falta de soporte actualizado de programación.

BÚSQUEDA DE SOLUCIONES A FACTORES DE FALLA.

Las detenciones recurrentes del Stacker evidencian la necesidad de ejecutar acciones que garanticen tanto la continuidad operativa como la seguridad del proceso. Bajo este escenario, se hace imprescindible la búsqueda de soluciones que permitan modernizar el sistema de control, incorporando tecnologías que faciliten una mayor flexibilidad en la integración de sensores, mejor capacidad de diagnóstico y reducción de tiempos de detención, asegurando así la continuidad productiva y la eficiencia operativa.

- a) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 1: Incorporar un encoder que realice mediciones de longitud a todas las piezas de madera provenientes de la cepilladora, eliminando la necesidad de que el operador realice conteos manuales. Para esto se debe utilizar una rueda de medición con un diámetro de 200mm conectada al encoder. Con esto datos se estima (Figura 2-7) una cantidad mínima de 1000 PPR para poder medir con una resolución de 0,6 mm de largo cuando avance la madera.

Datos		
Diámetro rueda medición	200	mm
circunferencia rueda medición	628	mm

Formula de resolución lineal (mm/pulsos)
--

resolución lineal (mm/pulsos) = circunferencia (mm) / PPR

PPR	(mm/pulso)
100	6,280
250	2,512
500	1,256
750	0,837
1000	0,628
1250	0,502
1500	0,419
1750	0,359
2000	0,314
2250	0,279

FIGURA 2-7_ Cálculo de resolución lineal.

- b) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 2: Actualizar el PLC actual por un modelo moderno que sea compatible con OPC Matrikon, ya utilizado en la red OT de la planta.

Para lograr la comunicación, el PLC deberá soportar al menos uno de los siguientes protocolos industriales: Ethernet/IP, Modbus TCP, OPC UA o Profinet. Esto permitirá la adquisición automática de datos de producción, eliminando la necesidad de ingreso manual de información y garantizando la integración directa con los sistemas existentes de la planta.

- c) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 3: En complementación al punto anterior se incorporará una terminal HMI en la máquina apiladora para permitir la visualización y gestión centralizada de todas las variables del proceso. La HMI deberá mostrar no solo las fallas de sobrecarga de motores, sino también otro tipo de errores, estados de operación y datos de producción en tiempo real. Esto facilitará la identificación inmediata de la causa de las detenciones, optimizando los tiempos de respuesta y reduciendo pérdidas operativas.

- d) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 4: Se implementará en la programación del PLC una rutina de limpieza automática de sensores mediante aire comprimido. La rutina controlará la activación de electroválvulas temporizadas, de modo que se emitan pulsos de aire que limpien de manera periódica el lente de los sensores, garantizando su correcto funcionamiento y reduciendo errores por acumulación de polvo o residuos.

- e) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 5: Debido a la limitada capacidad de I/O del PLC actual, se recomienda actualizar a un PLC moderno con mayor número de módulos expansión, el cual no se vea limitado por su chasis, así como entradas de contadores rápidos necesarios para la integración de encoders. Esta actualización permitirá incorporar todas las mejoras planificadas, ampliar la capacidad de expansión y garantizar la correcta adquisición y control de señales de alta velocidad, superando las restricciones del chasis y los módulos actuales.

- f) SOLUCIÓN A FACTOR FALLA 6: La solución para este punto, es el reemplazo del PLC que mantenga soporte técnico activo en el mercado garantizando repuestos, este debe cumplir con las características técnicas definidas por el perfil de la planta, es decir, no se puede escoger cualquier marca o tipo de controlador, además debe tener la posibilidad de conexión remota por medio de protocolos de comunicaciones actuales.

REQUISITOS PARA LA BÚSQUEDA DE EQUIPOS NUEVOS.

En base a lo descrito anteriormente, la prioridad es encontrar equipos de control que permitan la incorporación de mejoras. Gracias al análisis anterior podemos señalar todas las cualidades que estos deben tener, esto explicado en 2 puntos, PLC y sensores.

2.2.1. REQUISITOS PARA LA ELECCIÓN DE NUEVO PLC.

Este elemento es fundamental para la implementación de futuras mejoras.

Se necesita que debe encontrarse en un punto de su vida útil dentro del ciclo activo, lo que implica que el fabricante garantice la disponibilidad de repuestos y actualizaciones.

En este sentido, la capacidad del hardware adquiere especial relevancia, ya que se requiere que disponga de al menos cuatro entradas de conteo rápido, características inherentes a determinados tipos de PLC. Adicionalmente, debe contar con capacidad de expansión para la incorporación de tarjetas de I/O, lo que asegura el adecuado desempeño de la línea actual.

El PLC actualmente instalado posee 48 entradas y 19 salidas; en consecuencia, será necesario suministrar tarjetas de expansión para satisfacer los requerimientos planteados. Finalmente, el equipo deberá garantizar conectividad mediante protocolos de

comunicación vigentes, tales como Ethernet/IP, Modbus TCP, OPC UA o Profinet, con el propósito de facilitar tanto la transferencia de datos del PLC hacia bases de datos remotas como su visualización local por parte del operador.

2.2.2. REQUISITOS PARA LA ELECCIÓN DE NUEVO ENCODER MEDIDOR DE LONGITUD.

El encoder debe contar con los siguientes requerimientos: Una resolución mínima de 1000 PPR para garantizar medidas confiables, debe ser tipo incremental para que el tipo señal de salida digital sea de cuadratura A/B (compatible con entradas de contador rápido de PLC modernos), protección Grado IP 65 o superior para resistir polvo y vibraciones en el ambiente industrial.

CARACTERÍSTICAS DE EVALUACIÓN DE NUEVO PLC Y HMI.

La clasificación y el ordenamiento de los requisitos resultan fundamentales para establecer prioridades y destacar aquellos aspectos que pueden marcar una diferencia al momento de seleccionar un reemplazo adecuado para cualquier equipo. Con este propósito, se presenta una lista que detalla cada requerimiento junto con su respectiva descripción, facilitando así un análisis estructurado y objetivo.

- a) **PROVEEDORES DIRECTOS Y REPUESTO EN BODEGA:** Es necesario mantener relación con proveedores locales que permitan la compra de repuesto de emergencia, así como mantener un stock en bodega propia.
- b) **COSTO DE PLC Y HMI:** Considerar el precio actual en el mercado de los dispositivos evaluados, siempre teniendo en cuenta su calidad y confiabilidad.
- c) **ADQUISICIÓN SOFTWARE Y LICENCIAS:** Este punto trata del costo de las licencias de programas establecidos a cada marca. Cobra relevancia debido a que, sin estos no se puede acceder o programar un PLC y HMI.

- d) ENTRADAS DE CONTAJE RÁPIDO: Las opciones de PLC evaluados admiten o contienen dentro de su hardware, la opción de entradas especiales para la conexión de encoders.
- e) COMPATIBILIDAD DE MIGRACIÓN (PLC): Este punto trata de que tan rápido se puede migrar la programación de un PLC a otro, dado que no siempre tiene compatibilidad dando como resultado programar nuevamente.
- f) ROBUSTEZ DE EQUIPO Y SOPORTE DE EXPANSIONES: Se busca un PLC confiable que no falle por vibraciones o interferencias eléctricas generadas por el proceso mismo y que cumplan con sus certificaciones pertinentes. Así mismo se necesita que soporte tarjetas de expansiones con entradas y salidas.
- g) FACTIBILIDAD DE CONEXIÓN CON OPC Y CONEXIÓN ETHERNET: Estos últimos años se han integrado distintas tecnologías dentro de las plantas de remanufactura, una de ellas es la creación de una red OT (Tecnología de la operación), la cual se encarga de recolectar datos de distintos procesos manufactureros y llevarlos a estadísticas de producción, por lo cual se ha tornado un desafío, el poder enlazar distintos equipos con diversos protocolos de comunicación; esto ha generado la integración de equipos que cuentan con la capacidad de comunicación por puerto ethernet y conexión con OPC.

CREACIÓN DE TABLA DE PUNTAJES.

A continuación, se agrega una nota del 1 al 10 a cada característica, con el fin de evaluar cada opción, siendo el 1 la nota mínima y 10 la máxima. Con esta acción se sabrá que característica es más importante y prioritaria.

Factores de determinar equipos (PLC Y HMI)	Nota del 1 al 10	porcentaje (%)	PESO
Repuesto en bodega.	10	10	0,1
Costo HMI Y PLC	10	10	0,1
Software y licencias PLC.	10	10	0,1
Software y licencias HMI.	10	10	0,1
Capacidad de HSC.	10	10	0,1
Compatibilidad de migración. (PLC)	7	7	0,07
Robustes equipo.	7	7	0,07
Soporta expansiones.	8	8	0,08
Factibilidad de conexión con OPC	10	10	0,1
Conexión Ethernet	8	8	0,08
Total	90		0,9

TABLA 2-3 _ Calificaciones de características.

EQUIPOS PLC'S PROPUESTOS.

2.3.1. PROPUESTA 1_ Allen bradley.

Los controladores lógicos programables (PLC) Micro 870 y (HMI) Panelview 800, están diseñados para aplicaciones de control de máquinas de gran tamaño que requieren comunicaciones flexibles y mayores capacidades de E/S. El fabricante de estos equipos se mantiene activo en la fabricación de repuestos y actualizaciones de software al día de hoy.

2.3.1.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MICRO 870.

- El controlador por sí solo ofrece 24 puntos E/S (expandible hasta 304 puntos).
- Admite hasta 3 módulos de expansión enchufables en la parte frontal.
- Ofrece 280 KB de memoria soportando 128 KB de datos de usuario y 20.000 pasos de programa.
- Proporciona comunicación mediante puerto USB, puertos serial para RS 232 - RS485 y modbus TCP e Ethernet /IP sobre su único puerto Ethernet.
- Cuenta con compatibilidad de 4 entradas HSC para encoders.



FIGURA 2-8_ PLC MICRO 870.

2.3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PANEL VIEW 800.

- Compatibilidad con la familia de controladores Micro 800 (micro 800 – 870).
- Incluye CPU de 800MHZ de alto rendimiento con una memoria de 256 MB.
- Incluye puerto USB y microSD para transferencia de datos.
- Proporciona un historial de alarmas almacenado de hasta 500 registros.



FIGURA 2-8_ HMI PANELVIEW.

El Software necesario para la configuración y programación del PLC Y HMI de esta opción es el CCW (Connected Components Workbench), el cual incluye una licencia perpetua. Para cumplir con la cantidad de entradas y salidas a requerir se usarán los siguientes módulos: 2085-OQ16 tarjeta de 16 puntos de entrada, 2085 OW8 tarjeta de 8 puntos de salida, y para finalizar la tapa de termino de expansiones.

2.3.1.3. ANÁLISIS DE OPCIÓN 1.

Se baraja dentro de las posibilidades esta opción por la facilidad de encontrar repuestos, bajo valor de licencia para software de programación de PLC y HMI, soporte por medio de proveedor local como, Empresa Precisión, ubicada en la ciudad de Concepción, región del Biobío, Chile. La cual proporciona venta de hardware, software y licencias Allen Bradley, así como asesoría y servicio técnicos. Por otra parte, esta opción incluye la compra de un módulo especial tapa derecha para cierre de tarjetas de expansión, esta es necesaria para indicar al hardware que reconozca las expansiones instaladas.

Valor dólar 13-09-2025 \$ 952,4

Materiales AB					
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	PLC Micro 870	\$ 1.063	\$ 1.063	\$ 1.011.990	\$ 1.011.990
1	HMI panel view 800	\$ 920	\$ 920	\$ 875.960	\$ 875.960
2	Módulos salidas 2085-OW8	\$ 150	\$ 300	\$ 142.680	\$ 285.360
2	Módulo entradas 2085-OQ16	\$ 197	\$ 394	\$ 187.650	\$ 375.300
1	CONNECTED COMPONENTS WORKBENCH (licencia)	\$ 583	\$ 583	\$ 555.171	\$ 555.171
1	Tapa final conexión exp.	\$ 25	\$ 25	\$ 23.533	\$ 23.533
TOTAL		\$ 2.937	\$ 3.284		\$ 3.127.314

TABLA 2-4_ Componentes y valores de propuesta 1.

2.3.2. PROPUESTA 2_ Siemens.

Siemens ha ocupado un lugar destacado en la automatización a nivel mundial, debido a su robustez, escalabilidad y compatibilidad en diferentes procesos. Sus distintos PLC's integran diferentes redes industriales como PROFINET y MODBUS TCP que proporcionan ventajas de control y transmisión de datos, de igual forma sus pantallas HMI se adaptan a entornos exigentes, sus ventajas incluyen funciones de software integradas, como un sistema de generación de informes, gestión de recibos o funciones gráficas.

2.3.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CPU S7-1200 1214 DC/DC/RLY:

- Cuenta con 14 entradas digitales, 2 entradas análogas y 10 salidas de tipo relé.
- Capacidad de configurar 8 HSC sobre sus entradas digitales de 100 kHz.
- Permite expansión hasta 8 módulos de E/S y 1 ranura frontal para expansión.
- Memoria de programa / datos 100 KB.
- Protocolos de comunicación: MODBUS TCP, PROFINET y Ethernet /IP, sobre su puerto Ethernet.



FIGURA 2-9_ PLC Siemens S7-1200.

2.3.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS KTP 700:

- Displays de pantalla de 7" panorámica de alta resolución con 64.000 colores.
- Memoria para datos del usuario 10 MB.
- Interfaz USB que permite conectar un teclado, un ratón y la transferencia de datos.

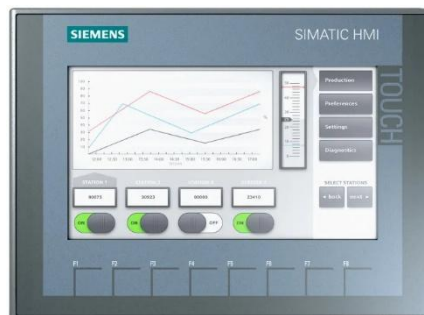


FIGURA 2-10_ HMI KTP 700.

El software dispuesto para la programación y configuración es TIA PORTA, una plataforma intuitiva que centraliza todas las herramientas de ingeniería, tanto como para

el PLC, así como HMI. Este software mantiene múltiples versiones actuales, para este proyecto solo se trabajará la versión 19, resultando una versión con soporte y estable. Para cumplir la necesidad de expansión se usan los siguientes, módulos: E/S Digital 16 DI/16, incluye 16 entradas y 16 salidas, por último, E/S Digital 8 DI/8 DO, que entrega 8 entradas y 8 salidas.

2.3.2.3. ANÁLISIS DE OPCIÓN 2

Se identifica como una opción confiable el contar con un proveedor directo de la empresa Calimport, lo que permite reducir los tiempos de adquisición de equipos. Calimport, ubicada en la ciudad de Concepción, Región del Biobío, Chile, ofrece la venta de hardware, software y licencias Siemens.

Si bien los costos asociados a las licencias de software son relativamente elevados, estas permiten programar toda la familia de PLC S7-1200 y S7-1500, lo que constituye una ventaja significativa; además, esta alternativa presenta una mayor integración con el personal, dado que en otros procesos de la planta ya se utilizan PLC Siemens. Esto favorece la estandarización, facilita la curva de aprendizaje y hace más amigable e intuitivo el uso de su software de programación (Ver tabla 2-5).

Materiales Siemens					
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	PLC S7-1200 1214dc/dc/rly siemens	\$ 713	\$ 713	\$ 678.952	\$ 678.952
2	S7-1200 E/S Digital 16 DI/16 DO 24V DC	\$ 301	\$ 603	\$ 287.047	\$ 574.095
1	S7-1200 E/S Digital 8 DI/8 DO 24V DC	\$ 229	\$ 229	\$ 218.000	\$ 218.000
1	Hmi KTP 700 siemens	\$ 1.329	\$ 1.329	\$ 1.265.350	\$ 1.265.350
1	TIA PORTAL v19 (incluye win cc Basic)	\$ 1.624	\$ 1.624	\$ 1.547.000	\$ 1.547.000
TOTAL		\$ 4.196	\$ 4.498		\$ 4.283.396

Valor dólar 13-09-2025 \$ 952,4

TABLA 2-5_ Componentes y valores de propuesta 2.

ELECCIÓN POR ANÁLISIS CUALITATIVO DE EQUIPOS POR PUNTOS.

Para este análisis calcularemos cualitativamente cada factor anteriormente mencionado, de acuerdo con la importancia de este y sus características propias, y hacer un análisis de sus cualidades y realizar la mejor elección (Ver tabla 2-6).

Factores de determinar	PESO	Propuesta 1 AB		Propuesta 2 Siemens	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Repuesto en bodega.	0,1	10	1	10	1
Costo HMI Y PLC	0,1	10	1	9	0,9
Software y licencias PLC.	0,1	10	1	9	0,9
Software y licencias HMI.	0,1	10	1	9	0,9
Capacidad de HSC.	0,1	5	0,5	10	1
Compatibilidad de migración. (PLC)	0,07	4	0,28	0	0
Robustes equipo.	0,07	10	0,7	10	0,7
Soporta expansiones.	0,08	8	0,64	10	0,8
Factibilidad de conexión con OPC	0,1	6	0,6	10	1
Conexión Ethernet	0,08	10	0,8	10	0,8
Total	0,9		7,52		8

TABLA 2-6_ Ponderaciones finales de elección.

2.3.3. RESULTADO DE TABLA COMPARATIVA.

Tras realizar una evaluación técnica de dos alternativas de controladores que cumplen con los perfiles definidos por la planta, y considerando factores clave como disponibilidad de repuestos, licencias, costos, robustez, integración y capacidad de expansión, se concluye lo siguiente:

La Propuesta 2: Siemens S7-1200 + HMI KTP 700 Basic obtuvo la mayor ponderación total 8,0 posicionándose como la opción técnicamente más equilibrada y robusta. Sus principales fortalezas son:

- Acceso a repuestos y soporte con proveedor local.
- Alta capacidad de HSC, robustez a nivel industrial e integración sencilla con tarjetas de expansión, sin necesidad de elementos adicionales.
- Conectividad directa con servidores de Matrikon OPC.

Por su parte, la Propuesta 1: Allen-Bradley Micro 870 + HMI Panelview 800 alcanzó una ponderación de 7,52 destacando principalmente por el bajo costo de sus licencias de software y por su robustez. Sin embargo, no logró posicionarse en primer lugar debido a limitaciones en la conectividad con Matrikon OPC, ya que no soporta conexión directa mediante Ethernet/IP y requeriría el uso del protocolo Modbus TCP, licencia con la que actualmente no cuenta la planta. Adicionalmente, su limitada capacidad de HSC (solo 4) representa una restricción para la calidad del proceso y futuras ampliaciones.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE EVALUACIÓN DE NUEVO SENSOR MEDIDOR DE LONGITUD.

En el proceso de medición de madera, el uso de un encoder adecuado resulta fundamental para garantizar exactitud y confiabilidad en los registros de longitud de las piezas. La utilización de un encoder inadecuado puede provocar errores en las medidas, lo que trae como consecuencia: Errores en el dimensionado de la madera, pérdida de material por cálculos imprecisos, desperdicio y costos de producción. Para esto se analizarán las dos alternativas de encoder de tipo rotativo y sin contacto.

Por lo tanto, se instruye que para este proceso se seleccione un encoder con las siguientes características:

- a) REPUESTOS EN BODEGA Y EXTERNOS: Este punto busca evaluar que tan fácil se puede adquirir un repuesto o reemplazar por otro, evitando detenciones por fallas de encoder.
- b) COSTOS: Costo de equipos, evaluando su función de solo medición de longitud.
- c) ROBUSTEZ: Resistencia a condiciones ambientales propias de la operación (polvo de madera, vibraciones, humedad).
- d) TIPO DE ENCODER: Necesario de tipo incremental, para que tenga compatibilidad con el Sistema de control propuesto.
- e) RESOLUCIÓN MÍNIMA: Resolución suficiente para la precisión requerida en la medición de madera (mayor o igual 1000 PPR).

- f) DESGASTE MECÁNICO: Busca evaluar que opción es más apta para realizar un trabajo con exposición a golpes.

2.4.2. CREACIÓN DE TABLA DE PUNTAJES.

Para escoger la mejor opción en cuanto al sensor de medición, se agrega una nota del 1 al 10 a cada factor, con el fin de evaluar cada opción, siendo el 1 la nota mínima y 10 la máxima (Ver tabla 2-7).

Factores de determinar equipos (PLC Y HMI)	Nota del 1 al 10	Porcentaje (%)	PESO
Repuesto en bodega y externo.	10	10	0,1
Costos	10	10	0,1
Robustes equipo.	10	10	0,1
Tipo incremental	10	10	0,1
resolución superior a 1000 PPR	10	10	0,1
Desgaste mecánico	8	8	0,08
Total	58		0,58

TABLA 2-7 _Calificación de características en encoder.

2.4.3.1. OPCIÓN SIN CONTACTO, SENSOR ENCODER NCV50B.

Fabricado por Sick para realizar la toma de medidas de largo en la madera, esto se debe a su confiabilidad y gran desempeño, El SPEETEC NCV50B (Ver figura 2-11) es un sensor de movimiento sin contacto que mide la longitud y velocidad de superficies sin necesidad de rodillos de arrastre ni contacto físico. Utiliza dos haces de luz láser continuos inofensivos para el ojo humano, que se proyectan sobre la superficie de la pieza en movimiento. A través del efecto Doppler óptico, el sensor detecta cambios en la fase de la luz reflejada, convirtiéndolos en impulsos eléctricos incrementales.

Estos impulsos son interpretados por el sistema de control (PLC u otro dispositivo) para calcular en tiempo real la velocidad, dirección y desplazamiento exacto del material.



FIGURA 2-11_ Encoder laser.

Características técnicas del encoder laser:

Voltaje de alimentación	24 (v) CC.
Paso de medida	1.000 (μm /impulso).
Tipo encoder	Incremental.
comunicación	Canal: A/B, HTL.
Vida útil	33 años.
Distancia medición	100 mm.
Grado de protección	IP 65.

TABLA 2-8_ Características sensor SPEETEC NCV50B.

2.4.3.2. ANÁLISIS DE OPCIÓN SIN CONTACTO.

Esta opción se considera adecuada debido a su capacidad de realizar mediciones de longitud de las tablas sin necesidad de contacto, lo que aumenta su durabilidad gracias a su diseño y construcción, si bien presenta un costo elevado (Ver tabla 2-9), se compensa con la simplicidad de su instalación y con los bajos requerimientos de elementos adicionales para su correcto funcionamiento. Pero su reemplazo se hace complejo en caso de falla debido a que no existe la opción de reemplazo con otras marcas.

Propuesta de encoder laser				Valor dólar 13-09-2025	
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	Encoder laser NCV50B	\$ 5.067	\$ 5.067	\$ 4.825.681	\$ 4.825.681
1	DOL-1208-W20MAC1 SICK Cable encoder	\$ 341	\$ 341	\$ 324.812	\$ 324.812
TOTAL		\$ 5.408		\$ 5.150.493	

TABLA 2-9_ Componentes y valores Encoder laser.

2.4.3.3. OPCIÓN ROTATIVA, SENSOR ENCODER DFS60B-S4PM10000.

Es un dispositivo de medición angular de alta precisión diseñado para aplicaciones industriales que requieren un control exacto de posición, velocidad y dirección de giro (Ver figura 2-12). Este encoder incremental proporciona señales precisas que permiten la integración con PLC's y sistemas de automatización para la supervisión y control de motores, transportadores y otros equipos rotativos. Entre sus principales características destacan su resolución elevada, confiabilidad en ambientes industriales y compatibilidad con interfaces estándar de conteo rápido, lo que lo hace ideal para procesos que requieren medición de alta velocidad y exactitud en el posicionamiento.

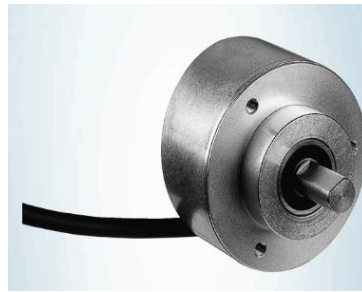


FIGURA 2-12_ Encoder rotativo.

Características técnicas:

Voltaje de alimentación	24 (v) CC.
Paso de medida	10.000 (PPR).
Tipo encoder	Incremental.
Comunicación	Canal: A/B, HTL.
Vida útil	300 años.
Distancia medición	N/A
Grado de protección	IP 65.

TABLA 2-10_ Características Encoder DFS60B-S4PM10000

2.4.3.4. ANÁLISIS DE OPCIÓN ROTATIVO.

El uso de un encoder rotativo se considera una alternativa de bajo costo para la medición de longitud, sin embargo, su implementación requiere de elementos adicionales para su correcto funcionamiento, tales como rueda de medición, acoples y soportes mecánicos; esta dependencia de componentes externos incrementa la complejidad de la instalación y el mantenimiento, aunque sigue siendo una opción económicamente atractiva en comparación con otras tecnologías de mayor costo (Ver tabla 2-11). Su reemplazo se hace más rápido en caso de falla debido a que existe una gran cantidad de opciones de reemplazo al ser un elemento común en el mercado.

Propuesta encoder rotativo					
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	DFS60B-S4PM10000	\$ 516	\$ 516	\$ 491.684	\$ 491.684
1	Acoplamiento de eje	\$ 61	\$ 61	\$ 58.401	\$ 58.401
1	Rueda medicion 200 mm	\$ 268	\$ 268	\$ 255.600	\$ 255.600
1	Conector encoder m23 con cable	\$ 146	\$ 146	\$ 139.309	\$ 139.309
1	Soporte montaje sick	\$ 33	\$ 33	\$ 31.595	\$ 31.595
TOTAL		\$ 1.025		\$ 976.589	

Valor dólar 13-09-2025 \$ 952,4

TABLA 2-11_ Componentes y valores encoder rotativo.

ELECCIÓN POR ANÁLISIS CUALITATIVO DE ENCODER POR PUNTOS.

En este análisis se evaluaron de manera cualitativa los principales factores que inciden en la operación considerando su relevancia, la economía del proyecto y la continuidad operativa, para encontrar la mejor opción.

Factores de determinar	PESO	Propuesta 1 encoder		Propuesta 2 encoder	
		Sin contacto		Rotativo	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Repuesto Bodega y externo.	0,1	5	0,5	10	1
Costos	0,1	3	0,3	10	1
Robustes equipo.	0,1	10	1	10	1
Incremental	0,1	10	1	10	1
Resolución	0,1	8	0,8	10	1
Desgaste	0,08	10	0,8	5	0,4
Total	0,58		4,4		5,4

TABLA 2-12_ Tabla de resultado de comparación.

2.4.4. RESULTADO DE TABLA COMPARATIVA.

Se evaluaron dos propuestas de encoder para la medición: encoder sin contacto y encoder rotativo, considerando factores clave como disponibilidad de repuestos, costos, robustez, tipo de señal, resolución y desgaste.

a) ENCODER SIN CONTACTO PROPUESTA 1.

Presenta la ventaja de no generar desgaste por ausencia de contacto mecánico, obteniendo la calificación máxima en este aspecto. También destaca en robustez, tipo incremental y facilidad de integración, con puntuaciones máximas. Sin embargo, presenta debilidades en disponibilidad de repuestos por lo que su nota sería un 5, en costos un 3, ya que requiere una inversión inicial más elevada.

Su ponderación total alcanzó 4,4 quedando por debajo de la alternativa rotativa.

b) ENCODER ROTATIVO PROPUESTA 2.

Se posiciona como la opción más equilibrada con una ponderación total de 5,4 superando a la opción sin contacto. Destaca principalmente en disponibilidad de repuestos 10 y costos 10, siendo más accesible y fácil de reponer.

La principal desventaja es el desgaste mecánico 5 al depender de elementos adicionales como ruedas de medición, acoples y soportes, lo que puede implicar mayor mantenimiento en el largo plazo.

EL ANÁLISIS CONCLUYE.

Según la evaluación, el encoder rotativo incremental resulta la mejor alternativa, el factor decisivo fue la disponibilidad de repuestos externos, crítico en entornos industriales donde la continuidad operativa depende de poder reemplazar componentes rápidamente. Aunque el encoder sin contacto tiene ventajas, su baja disponibilidad de repuestos lo hace menos viable y más riesgoso al general una detención prolongada por falta de repuesto. El encoder sin contacto puede considerarse en un futuro como opción tecnológica, pero hoy representa un mayor riesgo operativo por la dificultad de reemplazo.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

Se propone reemplazar el PLC obsoleto SLC 500 de Allen-Bradley por el PLC S7-1200 de Siemens, seleccionado en el análisis previo por su disponibilidad en el mercado, servicio técnico activo y garantía de repuestos. La incorporación de este controlador permitirá mejorar la visualización local mediante una pantalla HMI KTP 700 y habilitar la conexión remota gracias a su compatibilidad con protocolos OPC (Matrikon), facilitando así el conteo y control del proceso.

Adicionalmente, se propone integrar un sistema automático de conteo de longitud mediante un encoder rotativo modelo DFS60B-S4PM10000, seleccionado previamente por sus ventajas técnicas (Ver figura 2-13). El principio de funcionamiento consiste en acoplar el encoder al eje de la cinta transportadora, de modo que genere pulsos proporcionales al desplazamiento lineal. Además, para asegurar que el conteo corresponda únicamente a la presencia de madera, una fotocelda habilita el registro de pulsos al detectar el paso de cada tabla, evitando errores asociados al movimiento en vacío de la cinta y garantizando la medición individual de cada pieza. Con esta información, el sistema es capaz de calcular automáticamente el volumen en metros cúbicos, eliminando la necesidad de que el operador ingrese a la línea para realizar la cubicación manual del material apilado. Finalmente, los datos procesados por el PLC se presentan en la pantalla HMI ubicada en la consola de operaciones, donde el operador puede visualizar en tiempo real las variables del proceso, el conteo de piezas y las alarmas del sistema, contribuyendo a una operación más segura y eficiente.

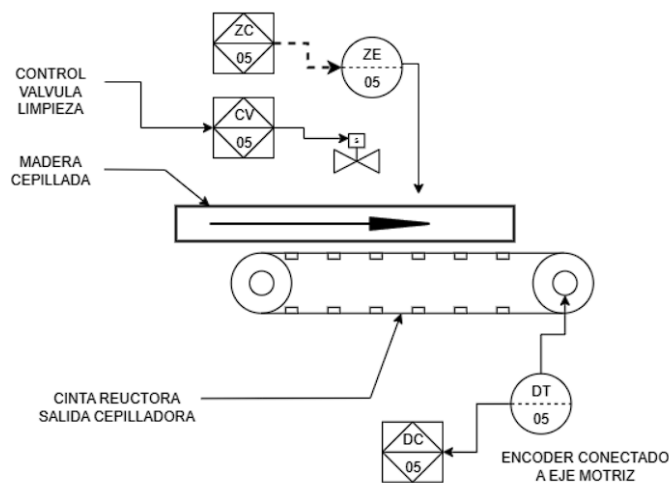


FIGURA 2-13_ P&ID Encoder.

Finalmente, se incorporará un sistema de limpieza automática para las fotoceldas instaladas en terreno (Ver figura 2-14), mediante el accionamiento de electroválvulas neumáticas que emiten pulsos de aire dirigidos al lente de los sensores. Esta automatización tiene como propósito evitar la detención del proceso productivo y reducir el riesgo de accidentes, al eliminar la necesidad de que el operador ingrese a la línea de producción para realizar tareas de mantenimiento manual.

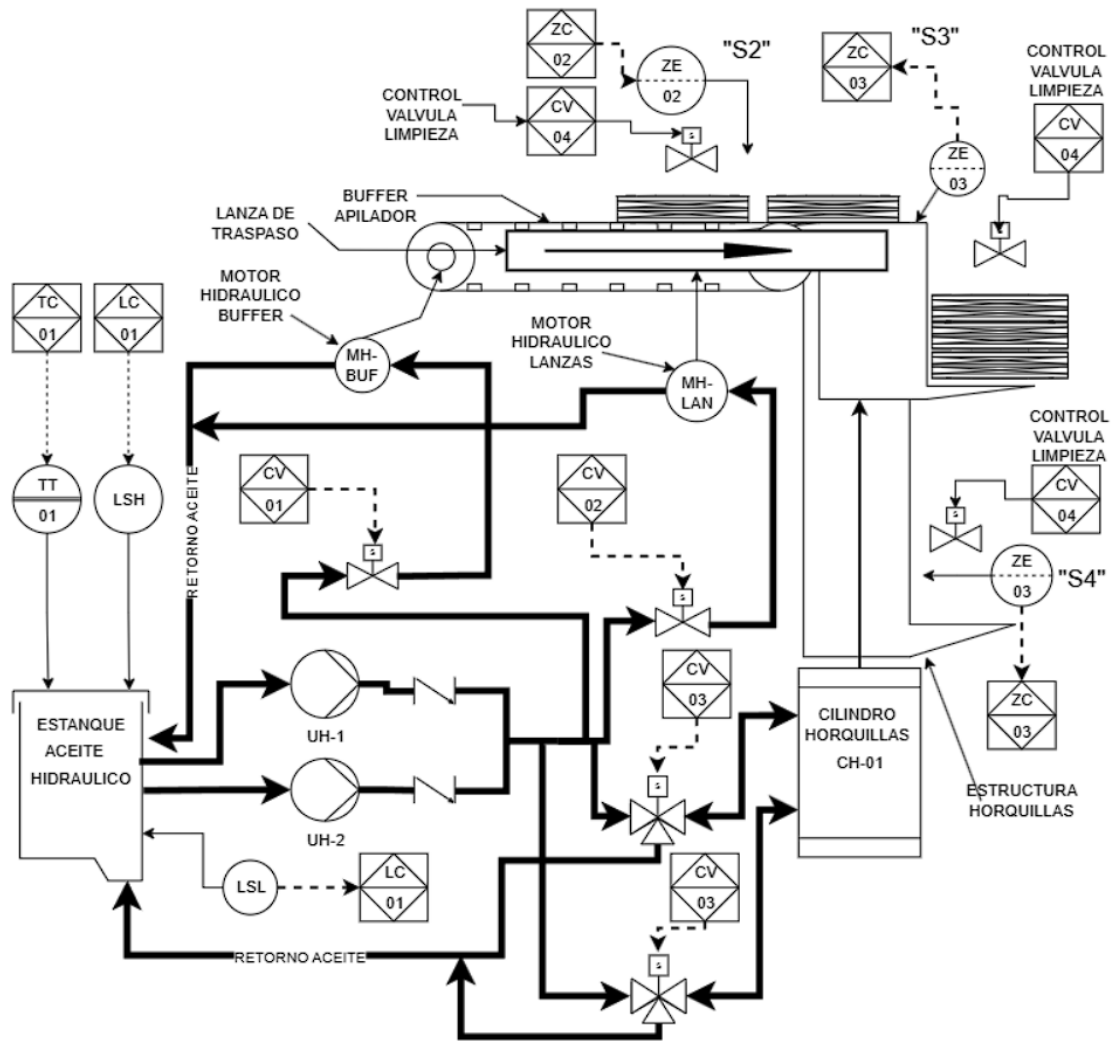


FIGURA 2-14_ P&ID con mejoras.

CAPITULO 3 _ Propuesta de mejoras y validación experimental.

En el presente capítulo se busca dar cumplimiento a dichos requerimientos mediante una serie de validaciones experimentales realizadas en un entorno controlado, debido a la imposibilidad de acceder a la programación original del PLC en planta, se desarrolló un ejemplo representativo diseñado para reproducir una de las funciones críticas que permitirían comprobar la factibilidad técnica de la propuesta. Las pruebas se centraron en tres ejes fundamentales:

1. Migración de la lógica de control hacia un PLC moderno Siemens S7-1200, utilizando rutinas equivalentes a las que se encuentran en el Stacker.
2. Configuración y uso de un encoder incremental de 10.000 pulsos por revolución, adaptado para el cálculo del volumen de madera procesada en m³.
3. Integración mediante Matrikon OPC, con el fin de validar la comunicación entre el PLC y un sistema de supervisión.

De este modo, el capítulo no presenta la ejecución de un proyecto industrial en planta, sino una validación académica de factibilidad, donde se comprueba que las tecnologías propuestas en el Capítulo 2 pueden implementarse con éxito en un contexto real.

MIGRACIÓN DE LÓGICA.

El propósito de esta etapa es demostrar que las funciones básicas de control del apilador automático Stacker, originalmente implementadas en un PLC Allen-Bradley SLC 500, pueden ser reproducidas y optimizadas en un PLC Siemens S7-1200, garantizando así la continuidad operacional y la posibilidad de escalabilidad futura.

Sin embargo, por motivos de confidencialidad de la empresa, no es posible acceder directamente al programa original del SLC 500. Frente a esta restricción, se desarrolló un ejemplo representativo en RS Logix 500, elaborado únicamente con fines académicos. Dicho ejemplo reproduce el comportamiento de una rutina crítica del Stacker, en particular el control de la mesa de Pull área, sirviendo como base de referencia para ejecutar el proceso de migración y validación dentro del entorno TIA PORTAL V19.

3.1.1. ANÁLISIS DE LÓGICA BASE.

La rutina analizada corresponde al ejemplo de control de arranque y parada del motor de la mesa Pull área (Ver figura 3-1). El accionamiento del motor se produce mediante la activación de la salida Q:0/0, la cual comanda el contactor encargado de energizar el circuito de fuerza del motor eléctrico. El inicio de la marcha se da cuando el operador presiona el pulsador de arranque, cableado en la entrada I:0/1. Sin embargo, para que el sistema ejecute la orden, deben cumplirse previamente condiciones de seguridad y de operación que garanticen un funcionamiento confiable.

Condiciones de seguridad:

- El pulsador de parada de emergencia (I:0/0) no debe estar activado.
- El relé térmico asociado al motor (I:0/4) no debe haber actuado por sobrecarga.

Condiciones de operación:

- El pulsador de detención (I:0/2) no debe estar activado.
- No debe existir condición de saturación de madera en el buffer del Stacker. Para ello, un sensor supervisa el avance de las tablas y activa un temporizador (T4:0). Si el sensor detecta ausencia de movimiento durante un periodo de 3 segundos, el contacto T4:0 DN se abre, provocando la detención de la mesa Pull área.

Finalmente, es importante destacar que las señales de detención se cablean físicamente mediante contactos NC (normalmente cerrados), lo que incrementa la seguridad del sistema, ya que, ante una falla por rotura de cable, el circuito interpretará la condición como una orden de parada.

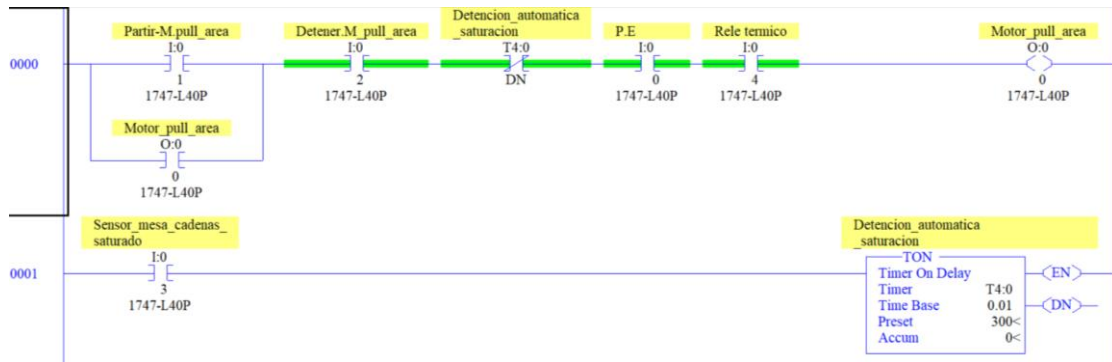


FIGURA 3-1_ Arranque / Parada en RS LOGIX 500.

El programa incorpora un sistema de señalización destinado a informar al operador cuando la máquina se encuentra detenida. Este mecanismo se implementa mediante una salida controlada por un tren de pulsos, generado a partir de dos temporizadores configurados en cascada.

Dichos temporizadores se enlazan a través de sus contactos de finalización de conteo (DN), lo que permite su restablecimiento continuo. Como resultado, se obtiene una condición cíclica de encendido y apagado que habilita la salida Q: 0/1 (Ver figura 3-2). Esta salida se encuentra cableada a una luz piloto, la cual parpadea de manera intermitente y brinda al operador una indicación visual de la detención del motor de Pull área.

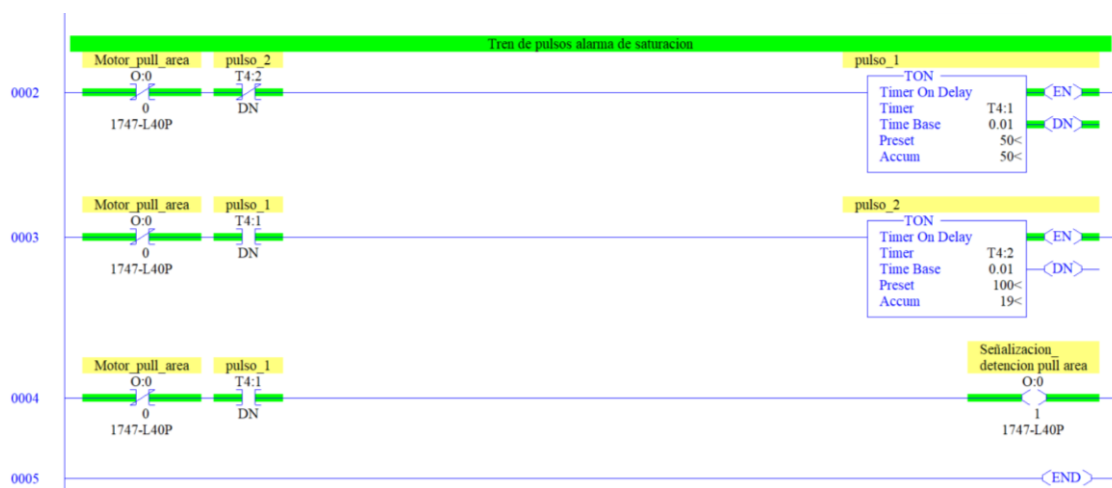


FIGURA 3-2_ Indicación de alarma RS LOGIX 500.

REASIGNACIÓN DE VARIABLES.

La reasignación de variables entre dos PLC constituye una etapa clave dentro de un proceso de migración, ya que permite trasladar la lógica y las referencias de un sistema antiguo hacia una nueva plataforma de control manteniendo la funcionalidad. Este procedimiento no se limita a un simple cambio de direcciones, sino que implica analizar cada memoria o bloque de datos que estaba estructurado originalmente, y adaptarlo a la arquitectura y convenciones del nuevo controlador.

3.1.2. ENTRADAS Y SALIDAS.

En esta etapa es necesario considerar las diferencias de nomenclatura entre ambos fabricantes. Mientras que en Allen-Bradley las entradas y salidas se identifican como I:0/0 y O:0/0, en Siemens se emplea la notación I0.0 y Q0.0. Aunque el formato cambia, en ambos casos el principio de direccionamiento es el mismo (Ver tabla 3-1) en donde el primer número hace referencia a la tarjeta y el segundo a la posición de conexión.

PLC SLC 500	PLC S7-1200.
Entrada I: 0/0	Entrada I 0.0
Salida Q: 0/0	Salida Q0.0

TABLA 3-1_ Traspaso de nomenclatura I/O.

3.1.3. TEMPORIZADORES.

Otro aspecto relevante fue la incorporación de temporizadores. En Allen-Bradley, los temporizadores se organizan en archivos (T4:0, T4:1, etc.), mientras que en Siemens cada temporizador se asigna a un tag con parámetros definidos, tales como IN, PT, ET y la salida Q. Esta diferencia permitió aprovechar la programación simbólica de TIA PORTAL, otorgando mayor claridad en la lógica.

SLC 500	Temporizadores S7-1200.	Descripción
Temporizadores T4:0	Temporizador + tag.	Identificación del temporizador. En Allen-Bradley se usa número de archivo y posición, mientras que en Siemens se asigna un nombre simbólico (tag).
Ajuste Preset	PT	Tiempo configurado para el temporizador.
Time base	S(segundos), ms (milisegundo)	Tiempo transcurrido en la ejecución.
Accum	ET	Unidad de tiempo utilizada en la temporización.
Salida DN	la salida Q	Estado lógico del temporizador (activo/inactivo).

TABLA 3-2_ Traspaso de nomenclatura temporizadores.

Cabe señalar que, si bien en el proceso de migración existen otros elementos de programación disponibles en TIA PORTAL y RS LOGIX 500, tales como marcas, memorias internas y funciones avanzadas, estos no se abordan en detalle dentro del presente ejemplo. La razón es que su análisis excede el alcance definido para esta migración, cuyo foco está en reproducir y validar la rutina representativa del apilador Stacker. De esta forma, se garantiza que el estudio mantenga un carácter académico y demostrativo, sin entrar en una descripción exhaustiva de todas las posibilidades de programación que ofrecen las plataformas antes señaladas.

3.1.4. REDISEÑO EN TIA PORTAL V19.

Los aspectos previamente analizados resultan esenciales para asegurar un traspaso confiable de la programación entre plataformas. El rediseño exige comprender con precisión el funcionamiento de ambos entornos y al mismo tiempo adaptar la lógica a las características propias del sistema Siemens. El código resultante de la migración del ejemplo representativo quedó implementado dentro de un bloque de función (FB) en TIA PORTAL V19 (Ver figura 3-3). Esta estructura aporta ventajas relevantes, como la creación de instancias de datos independientes, que permiten almacenar valores específicos de cada ejecución y la posibilidad de reutilización de la lógica dentro del mismo programa. Gracias a ello, la misma secuencia de control puede aplicarse en distintos transportadores que operen bajo condiciones similares.

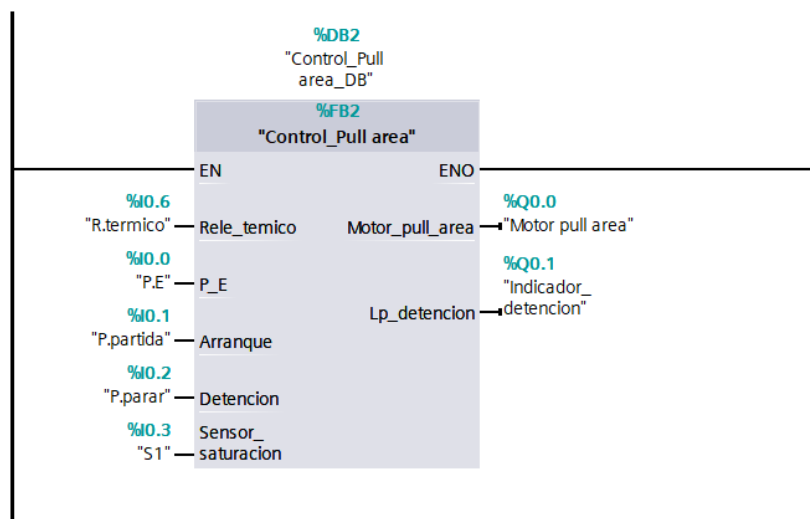


FIGURA 3-3_ Bloque FB migrado en TIA PORTAL.

Internamente, el bloque adapta la programación (ver figura 3-4) al uso de tags junto con el nuevo formato de temporizadores disponible en TIA PORTAL. A su vez, se optimiza la gestión del código de alarmas gracias a las prestaciones del nuevo PLC, como el uso de marcas de ciclo. Esta funcionalidad permite reducir el consumo de memoria, ya que reemplaza la lógica de los dos temporizadores utilizados anteriormente para generar un pulso. En consecuencia, el código resulta más simple, eficiente y fácil de mantener, sin perder la funcionalidad implementada en la versión original.

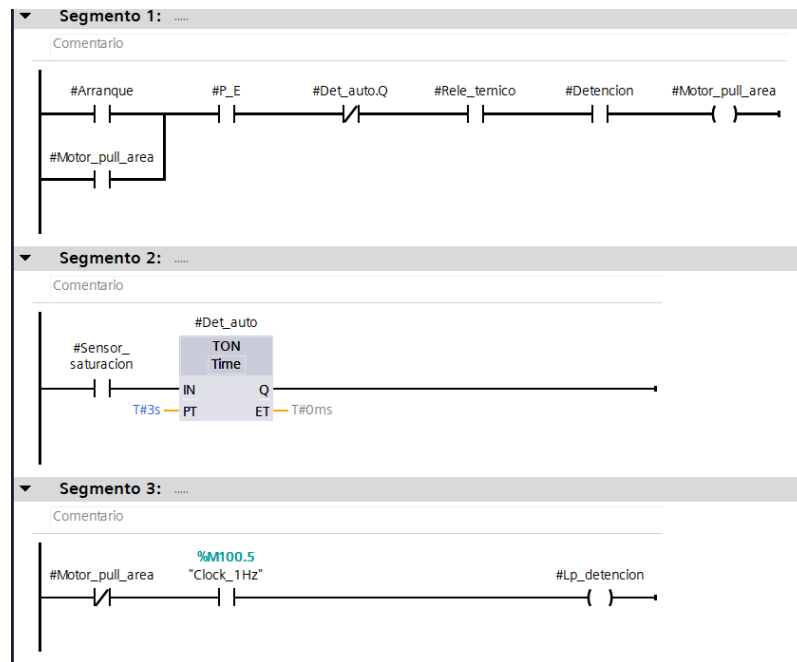


FIGURA 3-4_ Código interno Bloque FB migrado en TIA PORTAL.

3.1.5. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE MIGRACIÓN.

Como etapa final del proceso de rediseño se procede a la validación de la programación, con el objetivo de comprobar que la lógica migrada mantiene el mismo comportamiento que el código original. Para ello, se utiliza PLC SIM, el simulador oficial integrado en TIA PORTAL, que permite ejecutar pruebas controladas en un entorno virtual antes de implementar el programa en el hardware real. Este procedimiento garantiza la detección temprana de posibles errores, reduce riesgos en la puesta en marcha y asegura que las condiciones de seguridad y operación se cumplan de manera equivalente al sistema previamente programado.

Para la validación en PLC SIM, se utiliza una tabla de forzado (Ver figura 3-5), en la cual se seleccionan las variables que representan las entradas del sistema y se manipulan manualmente para comprobar el funcionamiento del programa; de este modo, es posible simular las condiciones necesarias para la partida, como la liberación de la parada de emergencia, la no activación del relé térmico y la inactividad del pulsador de detención.

	i	Nombre	Dirección	Formato de visua...	Valor de observac..	Valor de forzado ...	F
1	F	"P.E":P	%IO.0:P	BOOL	<input type="checkbox"/>	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
2	F	"P.partida":P	%IO.1:P	BOOL	<input type="checkbox"/>	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>
3	F	"S1":P	%IO.3:P	BOOL	<input type="checkbox"/>	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>
4	F	"P.parar":P	%IO.2:P	BOOL	<input type="checkbox"/>	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
5	F	"R.termico":P	%IO.6:P	BOOL	<input type="checkbox"/>	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 3-5_ Tabla de forzado en TIA PORTAL.

Posteriormente, se simula la acción del pulsador de arranque aplicando un pulso de activación y desactivación de la misma manera en que funcionaría en terreno. Como resultado, el bloque FB2 (Ver figura 3-6) responde correctamente con la activación de la salida correspondiente, validando así la lógica de control en un entorno virtual.

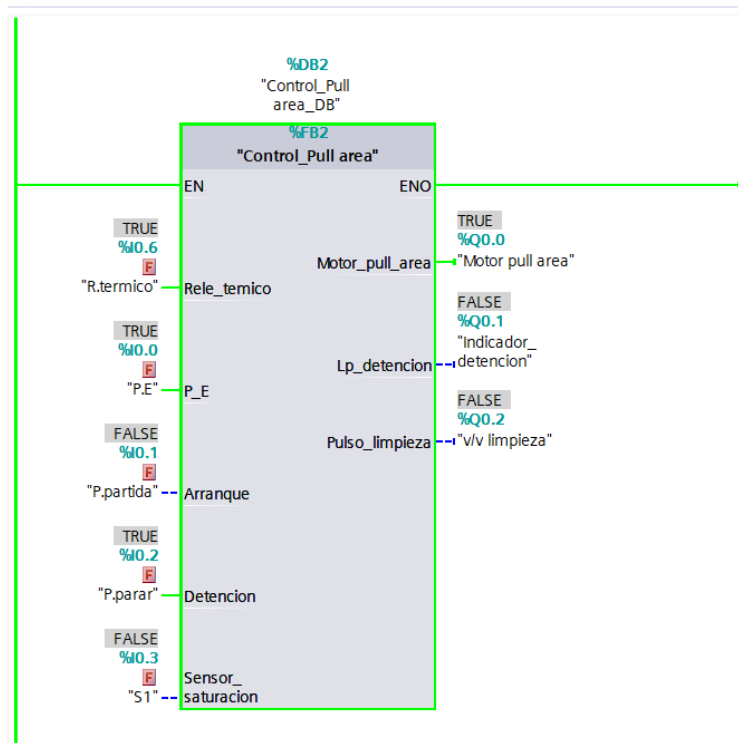


FIGURA 3-6_ Bloque FB2 simulado en PLC SIM.

Para finalizar la validación, se comprueba la funcionalidad de detención mediante el sensor de llenado. En la tabla de forzado (Ver figura 3-7), se activa manualmente la entrada I:0.3 correspondiente a dicho sensor.

	i	Nombre	Dirección	Formato de visua...	Valor de observac..	Valor de forzado ...	F
1	F	"P.E":P	%IO.0:P	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
2	F	"P.partida":P	%IO.1:P	BOOL		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>
3	F	"S1":P	%IO.3:P	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
4	F	"P.parar":P	%IO.2:P	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
5	F	"R.termico":P	%IO.6:P	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 3-7_ Tabla de forzado, detención por sensor.

De esta manera el sistema simula la condición de saturación de madera (Ver figura 3-8), generando la orden de parada y la activación del indicador de alarma, verificando que la lógica responda con la detención de la mesa Pull área, tal como ocurre en el funcionamiento real.

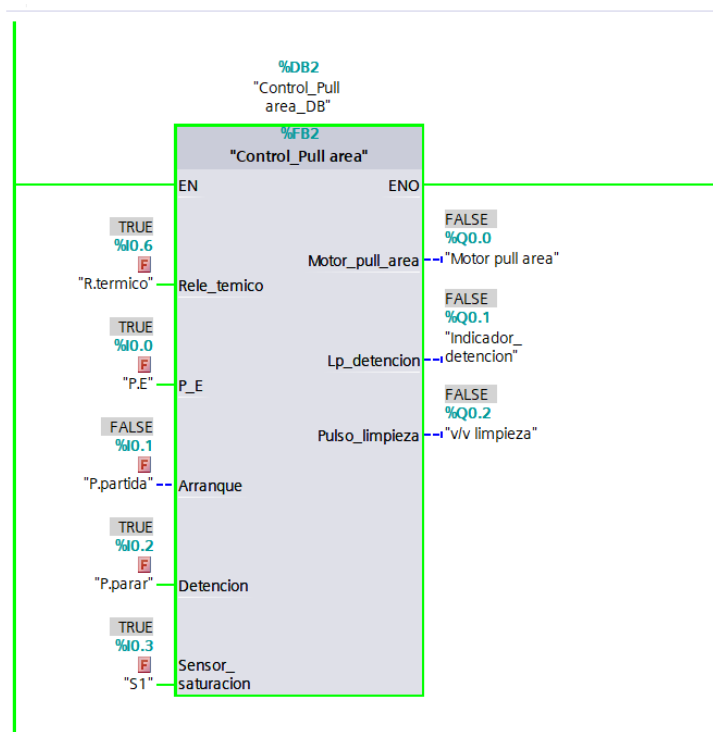


FIGURA 3-8_ Bloque FB comprobación de detención.

3.1.6. RESULTADO DE MIGRACIÓN

Los resultados obtenidos en la simulación confirman que el programa migrado mantiene el mismo comportamiento funcional que el ejemplo representativo dispuesto, cumpliendo

las condiciones de seguridad y operación establecidas. Asimismo, se verificó la correcta ejecución de las rutinas de arranque, detención y alarmas, demostrando que el rediseño en TIA PORTAL V19 es plenamente compatible con los requerimientos del proceso. Independiente de que la validación se llevó a cabo en un entorno simulado debido a las restricciones de acceso al código original, los resultados respaldan la factibilidad de implementar la solución en un entorno real con un riesgo mínimo. A su vez se cuenta con la ventaja adicional de una estructura de programación más moderna y eficiente.

Una vez validada la migración de la lógica, el trabajo se orientará a incorporar las nuevas funcionalidades propuestas, como la medición automática de longitud, visualización local de variables y envío de datos por OPC Matrikon.

INCORPORACIÓN DE MEDICIÓN DE LONGITUDES Y VISUALIZACIÓN LOCAL.

El siguiente apartado tiene como finalidad demostrar la integración de un sistema de medición de madera basado en un encoder incremental y su respectiva visualización en una pantalla HMI. Esta incorporación permite la cubicación de material apilado de forma accesible al operador, evitando exposición a posibles lesiones y previniendo las detenciones innecesarias, tal como se señala en capítulo 2.

3.2.1. CONFIGURACIÓN HSC EN TIA PORTAL.

En el entorno de programación de TIA PORTAL, la configuración del encoder incremental se centra en la definición de parámetros esenciales (Ver figura 3-9) que permiten transformar las señales de pulsos en información interpretable. Entre ellos destacan: El nombre asociado, el modo de contaje, la fase de servicio, el sentido de contaje, las entradas a utilizar y la configuración de la dirección para el sistema, cabe señalar que estas configuraciones se encuentran en el apartado parámetros de CPU, contadores rápidos HSC. Esta etapa resulta fundamental, ya que asegura que la señal eléctrica proveniente del dispositivo pueda integrarse de manera coherente con la lógica de control diseñada.

Datos configurados.

- Nombre: Encoder_largos.
- Modo de contaje: Contaje.
- Fase de servicio: A/B.
- Sentido de contaje inicial: Incrementar contador.

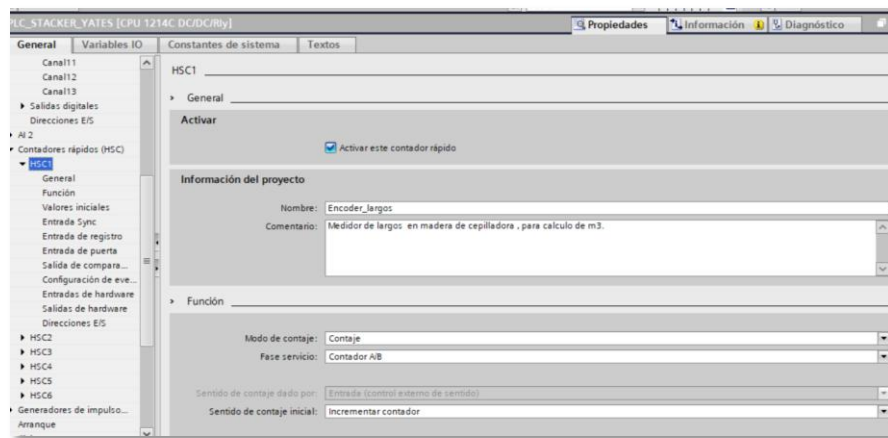


FIGURA 3-9_ Activación de contador rápido.

En el diseño de la programación las señales provenientes del encoder incremental fueron asociadas a las entradas físicas I0.4 y I0.5 (Ver figura 3-10), correspondientes a los canales A y B respectivamente. Estas entradas no se gestionan como señales digitales convencionales, sino que son redirigidas dentro del programa hacia un bloque de conteo rápido, lo que permite interpretarlas como un valor numérico continuo; para este caso, se asignó la identificación ID 1000, reservando un espacio de memoria específico en formato doble palabra (DWord), cuyo rango comprende desde la dirección 1000.0 hasta la 1003.7. Este procedimiento garantiza que los datos del contador rápido dispongan de un área exclusiva para su procesamiento, evitando sobrescrituras que puedan comprometer la coherencia de la información.

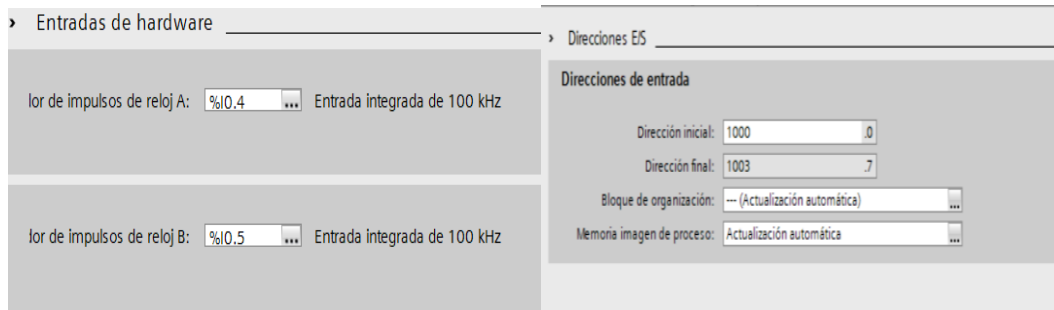


FIGURA 3-10_ Selección de entradas y dirección.

Para completar la configuración, fue necesario definir el tiempo de filtrado de las entradas asignadas al encoder (Ver figura 3-11), este parámetro disponible en el apartado de configuración de la CPU correspondiente a las entradas digitales. En este caso, el fabricante del encoder especifica un tiempo mínimo de ciclo de 0,4 μ s, para garantizar lecturas de estados confiables.

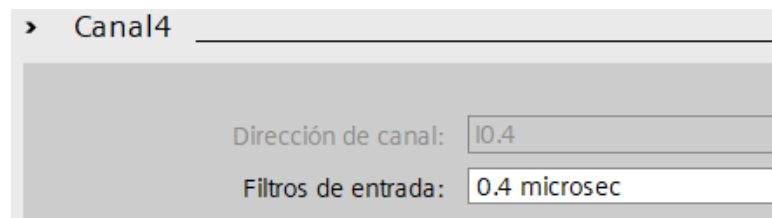


FIGURA 3-11_ Aplicación de filtro.

3.2.2. INTEGRACIÓN CON LÓGICA DE CONTROL.

Una vez definidos los parámetros de configuración, la arquitectura funcional del sistema se estructura a través de un bloque de función FB1 (Ver figura 3-12), en el cual se encapsula el procesamiento de la información. Este bloque es responsable de adquirir los datos de conteos de alta velocidad asignados al ID 1000, transformar los pulsos en una medida de longitud, definir cada pieza mediante condiciones de inicio y fin de conteo y entregar variables ya escaladas que sirven de base para los cálculos de cubicación y visualización en HMI. Adicionalmente, la lógica incluye parámetros editables como la

circunferencia del eje para adaptar la resolución del encoder, lo que otorga flexibilidad frente a ajustes mecánicos o cambios de dispositivo.

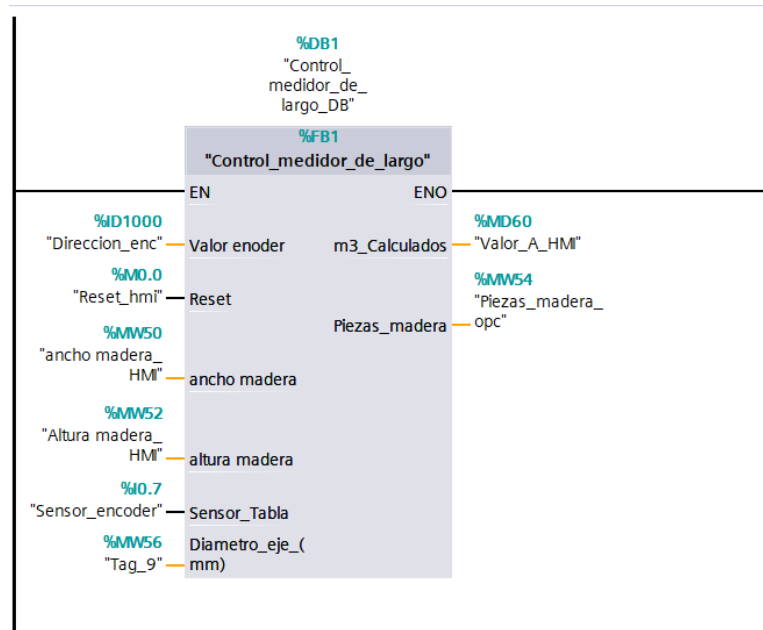


FIGURA 3-12_ Bloque FB1 de control encoder.

Dentro de la programación interna del FB1 se utilizó el bloque CTRL_HSC (Ver figura 3-13), encargado de gestionar el contador rápido del PLC asociado al encoder incremental. Su función principal es habilitar el conteo de pulsos a alta velocidad y entregar un valor numérico confiable que posteriormente se transforma en longitud dentro de la lógica del bloque.

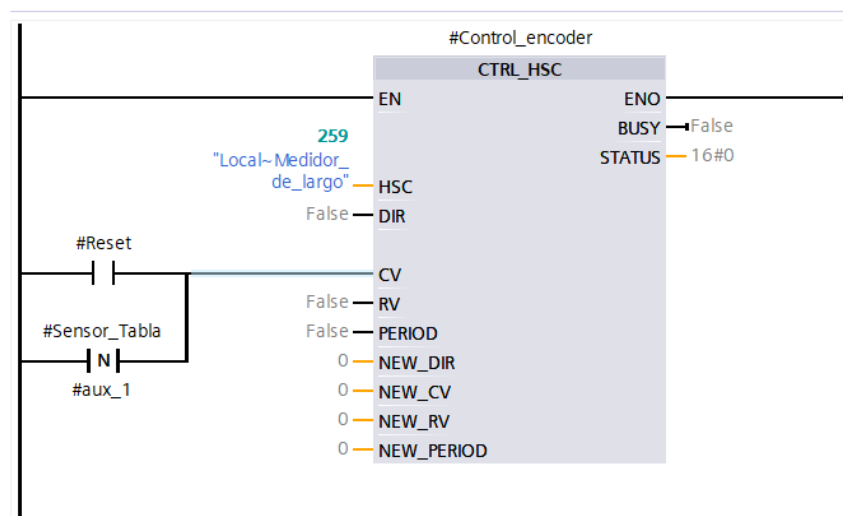


FIGURA 3-13_ Bloque de control HSC.

La correcta medición de la longitud requiere definir la condición que asegure que el conteo de pulsos corresponda únicamente a la presencia de madera sobre la cinta. Para ello, el sistema censa continuamente la entrada del sensor de tabla dispuesto sobre la cinta, este solo se activa al ingreso de una tabla en esta zona, de este modo los pulsos generados por el encoder se contabilizan únicamente dentro de dicho intervalo, una vez que la tabla termine su recorrido sobre la cinta el sensor detecta la ausencia desactivando la señal provocando la detención del conteo y ordenando el reset de nueva cuenta en el bloque CTRL_HSC. Esta estrategia evita lecturas erróneas producidas por movimientos en vacío de la cinta, garantizando que cada pieza sea medida de forma individual y precisa.

3.2.3. CONVERSIÓN DE PULSOS A LONGITUD.

El cálculo de la longitud recorrida por cada pieza se basa en la conversión de los pulsos generados por el encoder en una medida lineal expresada en metros. Por lo tanto, la programación incorpora operaciones matemáticas que relacionan el diámetro efectivo de la rueda de arrastre, la resolución del encoder (pulsos por vuelta) y el número de pulsos acumulados en el contador rápido (Ver figura 3-14). En una primera etapa, se determina el factor de conversión (mm/pulso), que corresponde a la circunferencia de la rueda de medición dividida por los pulsos por revolución del encoder. En este caso, con un diámetro de 200mm y un encoder de 10.000 pulsos/vuelta, se obtiene una resolución de aproximadamente 0,0628 mm por pulso. Posteriormente, este factor se multiplica por el número de pulsos contabilizados durante la “medición de la madera” habilitada por el sensor de paso, entregando el largo efectivo de la pieza en metros.

El bloque también considera acumuladores que permiten registrar de forma continua las medidas obtenidas, sumando los largos de tablas sucesivas y generando así información consolidada para el cálculo de cubicación. Este procedimiento asegura que cada pieza sea medida de manera individual y con alta precisión, evitando errores por desplazamientos en vacío.

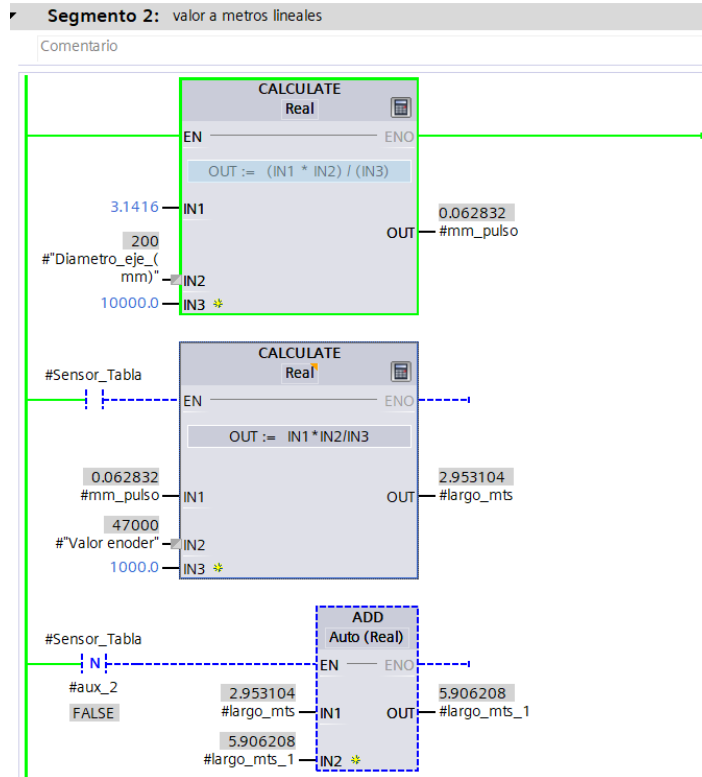


FIGURA 3-14_ Cálculo de metros lineales dentro de bloque FB1.

3.2.4. CÁLCULOS DE CUBICACIÓN Y VARIABLES DE PROCESOS.

Una vez obtenida la longitud de cada pieza mediante la conversión de pulsos del encoder, el siguiente paso consiste en determinar el volumen de madera expresado en metros cúbicos (m^3). Para este propósito, se normalizan primero las dimensiones de la pieza: ancho y altura. Estos valores, ingresados en milímetros por parte del operador son convertidos a metros a través de operaciones de división por un factor de mil. Posteriormente, el volumen de cada pieza se calcula multiplicando las tres dimensiones fundamentales: ancho (m), alto (m) y largo (m) (Ver figura 3-15), de este modo se obtiene un valor directo de cubicación individual, el cual es acumulado en variables de proceso que permiten conocer tanto el volumen por tabla como el total acumulado. Esta estrategia de cálculo automático ofrece dos beneficios principales: en primer lugar, elimina la necesidad de realizar cubicaciones manuales, reduciendo la exposición del operador a riesgos dentro de la línea de producción y, en segundo lugar, asegura un registro continuo y confiable del material procesado que puede integrarse a la visualización en HMI o sistemas de gestión superiores.

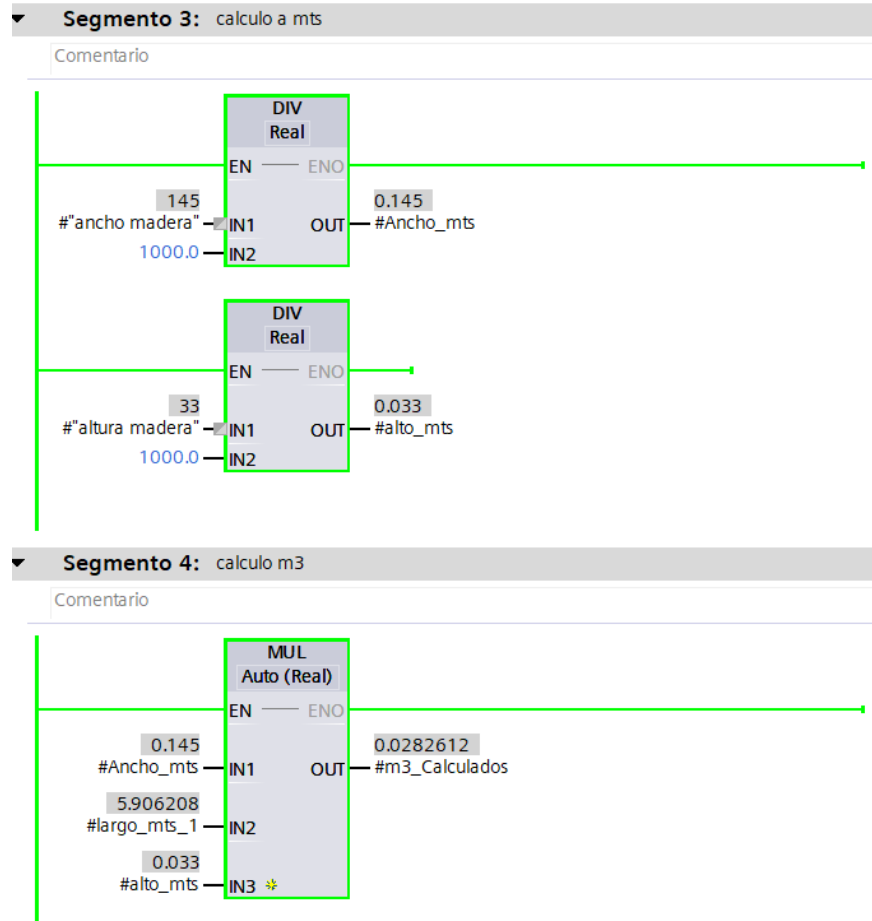


FIGURA 3-15_ Cálculos de metros cúbicos.

En síntesis, el cálculo automático del volumen cúbico garantiza una cubicación confiable y continua del material procesado, reduciendo la dependencia de métodos manuales y el riesgo asociado a la intervención del operador.

Como siguiente etapa, esta información se integra a la visualización en HMI, donde los valores de producción pueden ser monitoreados y gestionados en tiempo real por el personal en terreno.

3.2.5. VISUALIZACIÓN LOCAL HMI.

Con la incorporación de la visualización local en la terminal HMI (Ver figura 3-16), se materializan las mejoras propuestas, ya que se entrega al operador una herramienta sencilla y directa para llevar el control de la producción diaria. La pantalla de control de producción no solo registra variables críticas como los metros cúbicos acumulados, la cantidad de piezas procesadas y los paquetes formados, sino que también permite el

ingreso de parámetros dimensionales de la madera (ancho y espesor de la tabla), necesarios para el cálculo de cubicación. Adicionalmente, muestra al operador las cantidades de piezas y el largo acumulado garantizando que la información registrada sea precisa y coincida con el material procesado en terreno; de esta manera, el sistema no solo se adapta a diferentes medidas de tablas según la programación de producción, sino que también optimiza la gestión operativa al reducir errores y entregar datos confiables.

FIGURA 3-16_ Pantalla de visualización.

3.2.6. RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE LONGITUD.

El análisis de los resultados obtenidos demuestra la factibilidad de integrar un sistema de medición mediante un encoder que realice cálculo automático de cubicación y visualización en HMI. La lógica implementada permitió validar la capacidad de conteos rápidos de pulsos entregados por el encoder, así como la conversión de estos a longitud entregando para finalizar con cálculo de volumen con precisión y de manera consistente con los requerimientos de operación. Asimismo, la visualización local entregó al operador información confiable y en tiempo real, optimizando la seguridad y reduciendo la necesidad de intervención manual. Estos resultados respaldan la viabilidad de la solución propuesta y permiten proyectar su escalabilidad, cuyo último paso corresponde a la integración con el servidor Matrikon OPC, garantizando la disponibilidad de datos para monitoreo centralizado.

CONEXIÓN CON MATRIKON OPC.

La integración de sistemas de automatización industrial exige soluciones de comunicación confiables y estandarizadas que permitan el intercambio de información entre dispositivos de distintos fabricantes. En este contexto, los servidores OPC se consolidan como una herramienta fundamental al actuar como intermediarios entre los controladores lógicos programables (PLC) y las plataformas de supervisión.

3.3.1. HABILITACIÓN DE MECANISMO DE CONEXIÓN.

Para establecer la conexión es necesario habilitar la función PUT/GET dentro de la CPU (Ver figura 3-17), lo que permite al controlador intercambiar datos de manera directa con aplicaciones externas mediante el protocolo definido

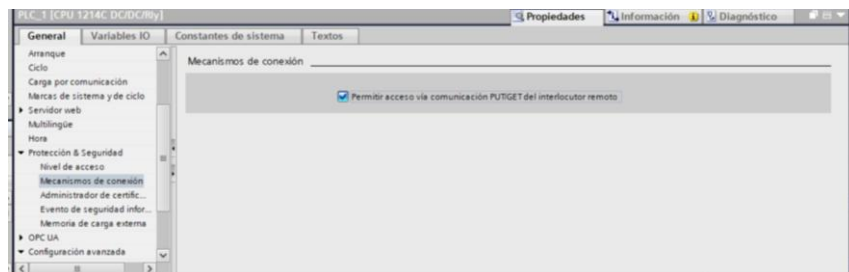


FIGURA 3-17_ Habilitación PUT/GET

De igual forma es necesario desactivar la optimización del bloque de datos DB1 (Ver figura 3-18), en el cual se almacenará la variable a exportar de modo que su direccionamiento absoluto sea accesible desde aplicaciones externas y pueda ser interpretado correctamente por el servidor OPC; para este caso experimental se exportará la variable “m3_Calculados” en la dirección 14.0 del bloque DB1.

	Nombre	Offset	Tipo de datos
[-]	Valor encoder	0.0	UDInt
[-]	Reset	4.0	Bool
[-]	ancho madera	6.0	UInt
[-]	altura madera	8.0	UInt
[-]	Sensor_Tabla	10.0	Bool
[-]	Diametro_eje_(mm)	12.0	UInt
[-]	m3_Calculados	14.0	DWord
[-]	Piezas_madera	18.0	Int

FIGURA 3-18 _ DB1 no optimizado.

La configuración del servidor OPC Matrikon requiere definir los parámetros de comunicación (Ver figura 3-19) que permitirán el enlace con el PLC Siemens. En esta etapa se establece el canal de conexión mediante el protocolo S7 ISO on TCP (RFC1006) estándar de la familia S7 para transmisión de datos sobre Ethernet. Esta definición constituye un paso esencial para que las variables alojadas en el PLC puedan ser interpretadas y expuestas a sistemas de supervisión externos de manera confiable.

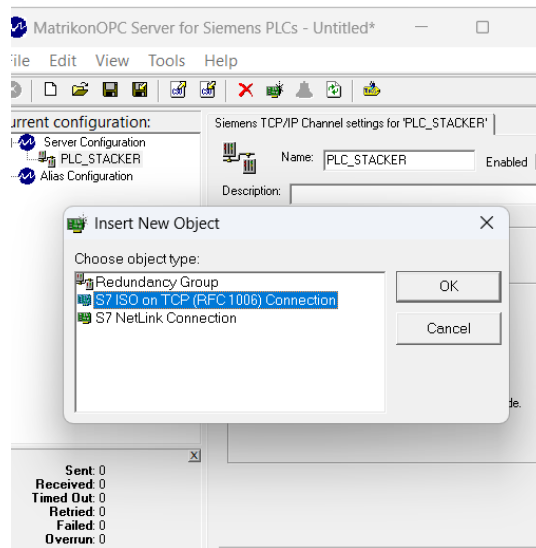


FIGURA 3-19_ Asignación de parámetros comunicación.

En este punto ya se evidencia el estado de comunicación como “Connected” (Ver figura 3-20). Reflejando la validación práctica de la arquitectura OPC, el servidor reconoce al dispositivo e identifica su modelo y establece el canal de comunicación a través de la dirección IP y el puerto configurado; más que un simple ajuste, esta instancia marca el

momento en que la información del proceso comienza a ser transferida de manera confiable hacia el servidor, habilitando la supervisión en tiempo real y la posterior visualización en plataformas de nivel superior. De este modo, la captura simboliza el cierre del ciclo de integración: desde la habilitación en el PLC hasta la confirmación de enlace operativo en Matrikon OPC.

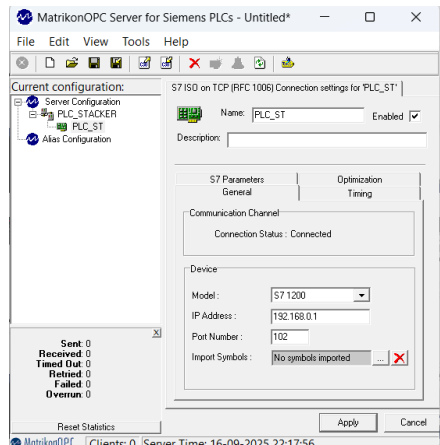


FIGURA 3-20_ Estado de comunicación.

Como etapa final, se habilita la conexión y se crea un grupo destinado a organizar los tags de proceso (Ver figura 3-21). En esta instancia, cada tag se define especificando el bloque de datos (DB) correspondiente, el tipo de dato y el offset asignado dentro del DB1 no optimizado desde el cual se desea realizar la lectura, esto asegura que la información del PLC pueda ser referenciada de manera consistente por el servidor OPC estableciendo el vínculo entre las variables internas del controlador y las aplicaciones de supervisión externas.

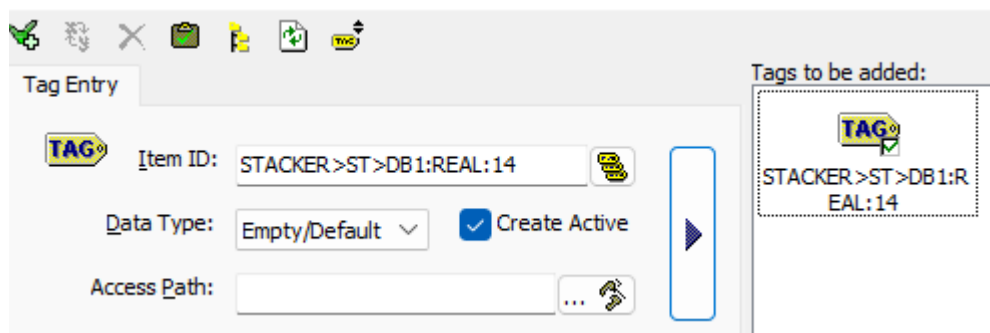


FIGURA 3-21_ Asignación de Tag.

3.3.2. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE CONEXIÓN A MATRIKON OPC.

Durante la etapa de verificación del bloque de función diseñado para el medidor de largo (Ver figura 3-22), se recurrió a la técnica de forzado de valores en las principales variables de entrada, tales como el diámetro del eje, el valor del encoder y las dimensiones de la madera. Este procedimiento permitió simular condiciones reales de operación sin necesidad de ejecutar la máquina físicamente, validando así la coherencia de los cálculos internos y la correcta generación de resultados en variables clave como los metros cúbicos procesados y el conteo de piezas; además, la utilización de estos valores forzados facilitó la vinculación con el servidor OPC Matrikon, garantizando que la información exportada hacia el sistema externo mantuviera consistencia y pudiera ser monitoreada en tiempo real, lo que respalda la factibilidad de su integración en un entorno productivo.

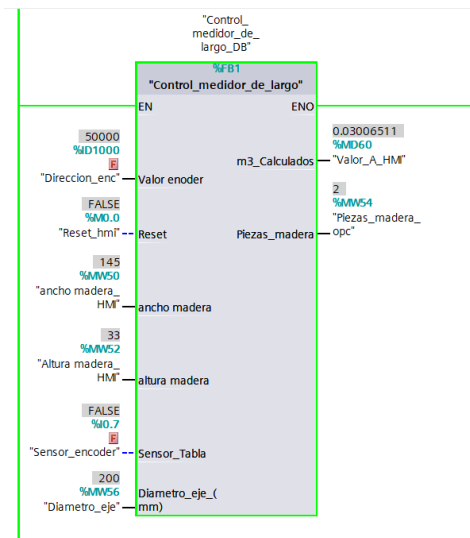


FIGURA 3-22 _ Bloque FB1 medidor de largo.

Finalmente, tras la configuración y el forzado de variables en el bloque de control, los datos pudieron ser visualizados directamente en el entorno de Matrikon OPC. En la figura se aprecia cómo las variables son exportadas desde el PLC (Ver figura 3-23), tanto en formato de datos reales como de contadores enteros aparecen con estado activo y calidad “Good”, lo que confirma la correcta transferencia de información.



Contents of 'Group0'					
Item ID	Access Path	Value	Quality	Timestamp	Status
 STACKER>ST>DB1:REAL:14		0,0300651099532843	Good, non-specific	10-05-202...	Active
 STACKER>ST>MW54		2	Good, non-specific	10-05-202...	Active

FIGURA 3-23_ Exportación de datos.

Esta instancia marca el cierre del ciclo de validación, ya que demuestra que los cálculos internos del bloque FB1 no solo se ejecutan de manera coherente dentro del PLC, sino que también pueden ser compartidos de forma confiable con sistemas externos de monitoreo.

CAPITULO 4 _Evaluación económica.

Para evaluar la conveniencia del proyecto, se emplearán dos indicadores fundamentales de análisis económicos: el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE). El VAC es el indicador que permite estimar el valor presente de todos los costos futuros asociados al proyecto. Por su parte, el CAE transforma esos costos en un valor anual equivalente, lo que facilita comparar proyectos con distinta duración o costos bajo una mirada común.

En este caso, se opta por utilizar estos indicadores debido a que no se cuenta con el valor de venta del producto, por lo que la evaluación se centra en los costos operativos y de inversión. La aplicación de ambos criterios permitirá determinar con mayor claridad si la propuesta resulta viable y conveniente en términos económicos para la planta.

ESTIMACIÓN DE MATERIAL APILADO EN EL STACKER.

Resulta fundamental determinar la capacidad máxima expresada en metros cúbicos de tablas cepilladas que pueden ser apiladas de manera segura en las horquillas del stacker. Este cálculo permite no solo estimar la producción alcanzada, sino también cuantificar las posibles pérdidas de material. Para el ejercicio de análisis se considerarán las dimensiones del producto más frecuentemente procesado (Ver tabla 4-1), identificado bajo la denominación "145" en referencia al ancho de la tabla, a su vez se agregaran los datos recopilados durante el proceso productivo.

Madera de muestra	Alto	Largo	Ancho	Unidad de medida
Madera "145"	33	3200	145	(mm)
Madera "145"	0,033	3,2	0,145	(m)

TABLA 4-1 _ Medidas de madera en metros.

4.1.1. DETERMINACIÓN DE ANCHO Y ALTURA.

La determinación del ancho y la altura del paquete de madera, se realizó a partir del conteo máximo de tablas que pueden disponerse en las horquillas del Stacker (Ver tabla 4-2), esto responde a la ausencia de una plataforma con medidas estandarizadas en dicha zona, lo que obliga a definir la capacidad en función del número de piezas que se apilan efectivamente.

Capacidad de tablas Stacker	Alto	Ancho	Unidad de medida
Madera "145"	55	8	(un)
Total de piezas de madera	440		(un)

TABLA 4-2_ Cantidad de piezas apiladas en Stacker.

4.1.2. CÁLCULO EN m^3 DE SUPERFICIE ÚTIL EN APILADOR STACKER.

Con la información recopilada se procede a calcular el volumen en metros cúbicos del paquete de madera, para ello se considera que el alto está representado por 55 tablas equivalentes a 0,033 m por cada una, mientras que el ancho corresponde a 8 tablas de 0,145 m. Finalmente, el largo se asocia a la distancia máxima cubierta por las horquillas, equivalente a 3,2 m. Al realizar la multiplicación de estas dimensiones se obtiene un volumen aproximado de 6,73 m^3 por paquete (Ver tabla 4-3), lo que permite cuantificar la capacidad de apilado del sistema.

m3 de superficie del Stacker.		
Alto	1,815	(m)
Ancho	1,16	(m)
Largo	3,2	(m)
Total	6,73728	m^3

TABLA 4-3_ Cálculo de metros cúbicos de un paquete de madera.

De los datos productivos recopilados se establece que, durante un turno de 7,33 horas la línea alcanza una producción de 6 paquetes, cada uno con un volumen de 6,73 m^3 . A partir de esta información, se procede a estimar la capacidad de producción expresada en diferentes escalas de tiempo : Por hora, por turno, de manera semanal y mensual (Ver tabla 4-4). Estos cálculos permiten conocer el rendimiento del apilador Stacker en condiciones de operación donde esta presente la detención por saturación.

Datos		
En un turno se producen:	6	Paquetes
Un turno de producción equivale a :	7,333	Horas

Cálculo producción.		
Mes	1051,0	m ³
Semanal	242,5	m ³
Diario	40,4	m ³
Hora	5,5	m ³

TABLA 4-4 _ Cálculo de producción total.

4.1.3. VALORES DE PRODUCCIÓN.

Dado que la información asociada al costo por metro cúbico de madera corresponde a datos sensibles de la planta, se optó por realizar una estimación referencial. Para ello, se consideró el valor de mercado de una tabla cepillada con las mismas dimensiones de la muestra utilizada, denominada "145", el precio unitario identificado fue de \$3.890 CLP, al cual se le descontó el 19% correspondiente al IVA, obteniendo un valor neto de \$3.151 CLP por cada unidad de madera.

A partir de este valor se calcula el costo de un paquete completo compuesto por 440 tablas o 6,73 m³, esto permite determinar el valor económico de la producción de cada paquete y por metros cúbicos (Ver tabla 4-5). Con esta referencia, se proyecta el valor de la producción en distintas escalas de tiempo: Por hora, por turno, semanal y mensual; entregando así una estimación del potencial económico del proceso productivo.

Datos			
		CLP+ IVA	CLP NETO
Precio madera cepillada (C/U), en el mercado.	\$	3.890	\$ 3.151

Cálculo de valor paquete de madera (6,73 m ³)		
Piezas de madera	m ³	Valor neto
440	6,73728	\$ 1.386.396

Cálculo valores de producción por metros cúbicos.			
	m ³	Valor neto	USD
Mes	1051,0	\$ 216.277.776,0	\$ 227.091,9
Semanal	242,5	\$ 49.910.256,0	\$ 52.405,8
Diario	40,4	\$ 8.318.376,0	\$ 8.734,3
Hora	5,5	\$ 1.134.324,0	\$ 1.191,0

TABLA 4-5_ Valores de cubicación.

4.1.4. PERDIDA ASOCIADA A DETENCION POR SATURACION.

Las pérdidas asociadas a las detenciones por saturación representan un factor crítico en la eficiencia del proceso. Actualmente, se registra un tiempo improductivo estimado en 2,2 horas por día, lo que se refleja mensualmente en 57,12 horas acumuladas sin producción. Este tiempo en el que la maquina esta inactiva equivale a 314,8 m³ de madera que dejan de ser procesados, lo cual impacta directamente en el desempeño del equipo y reduce de manera significativa la capacidad de producción de la planta (Ver tabla 4-6).

Tabla de tiempo perdido.	
Minutos detención mensual	3427
Horas detención mensual	57,12
Horas detención diarias	2,197

Cálculo valores de pérdidas producción por metros cúbicos				
Perdido de tiempo	Tiempo detención	m ³	Valor neto	USD
Mes	57,12	314,8	\$ 64.788.805,8	\$ 68.028,3
Diario	2,20	12,1	\$ 2.491.877,1	\$ 2.616,5

TABLA 4-6 _ Estimación de pérdidas.

EVALUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL.

Una vez determinados los valores de cubicación de material y en concordancia con lo analizado en el capítulo 2, se analizarán los dos puntos críticos de pérdida de producción relacionado al sistema de apilador Stacker (Ver tabla 4-7). El primero corresponde a una falla crítica del hardware del PLC, cuya discontinuidad en el mercado sumada a la ausencia de repuestos en planta genera un riesgo de detención total de la línea de cepillado obteniendo pérdidas de \$216.277.776 CLP. Ante este escenario, se estima que el fallo obligaría a una detención prolongada cercana a un mes, tiempo en el cual se debería adquirir en el extranjero un equipo de características equivalentes.

El segundo punto crítico corresponde a las detenciones recurrentes por saturación en el apilador, si bien estas interrupciones podrían parecer menores, representan pérdidas significativas de producción y de valor económico cuando se evalúan en escalas mensuales y anuales, afectando directamente la eficiencia y rentabilidad del proceso productivo.

Costo en caso de falla crítica en plc sin repuesto				
Descripción	Tiempo detención (días)	m ³ pedidos	Costo CLP	Costo USD
PLC SLC 500 Falla crítica hardware	26	1051,0	\$ 216.277.776	\$ 227.092

Costo por detenciones				
Descripción	Tiempo detención (días)	m ³ pedidos	Costo USD	Costo CLP
Detenciones frecuentes	26	315	\$ 64.788.806	\$ 68.028
Valor anual			\$ 777.465.670	\$ 816.340

TABLA 4-7 _ Cálculo de pérdidas ante falla crítica y detenciones.

4.2.1. ANÁLISIS DEL PERSONAL ACTUAL.

Dentro del análisis del personal (Ver tabla 4-8), se observa que la operación de la máquina y el proceso asociado están a cargo de un operador principal, responsable del control y la supervisión general; sin embargo, debido a las frecuentes detenciones por saturación del sistema ha sido necesario incorporar un ayudante; este segundo trabajador asume funciones complementarias, entre ellas la realización de mediciones y cálculos del material producido, además de brindar apoyo directo al operador en tareas operativas como el amarre de paquetes y actividades auxiliares que permiten mantener la continuidad del proceso productivo.

Personal planta fijo (mes)						
Cantidad	Cargo	Sueldo líquido	Salud	AFP	S. Cesantía	Sueldo bruto
			7%	11,16%	0,60%	
1	Operador Stacker	\$ 890.000	\$ 62.300	\$ 99.324	\$ 5.340	\$ 1.056.964
1	Ayudante de operador	\$ 756.000	\$ 52.920	\$ 84.370	\$ 4.536	\$ 897.826
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
						\$ -
						\$ -

Total Trabajadores	2				Total	\$ 1.954.790	
						Valor anual	\$ 23.457.475

TABLA 4-8 _ Análisis de costos del personal.

4.2.2. ANÁLISIS DE EQUIPOS ACTUALES.

El equipamiento (Ver tabla 4-9) es el encargado de ejecutar las funciones automáticas de apilado. Los precios de referencia se han considerado según el mercado vigente, destacando que el PLC SLC 500 presenta un valor aproximado de \$114.276 CLP, equivalente a 120 USD aproximadamente en el mercado extranjero. Se incluyen ambas

referencias debido a que, como se mencionó anteriormente en caso de falla el repuesto deberá ser adquirido fuera del país, dado que este modelo se encuentra discontinuado y no existen disponibilidades en el mercado local.

Equipamiento propuesto		Costo USD		Costo CLP	
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	PLC SLC 500 AB + chasis + E/S (descontinuado)	\$ 120	\$ 120	\$ 114.276	\$ 114.276
7	Sensores de proximidad (fotoelectricos)	\$ 156	\$ 1.095	\$ 148.999	\$ 1.042.993
7	Cables sensores	\$ 37	\$ 262	\$ 35.691	\$ 249.837
1	Tablero electrico	\$ 1.132	\$ 1.132	\$ 1.077.748	\$ 1.077.748
2	Sensores limites fin dde carrea	\$ 21	\$ 41	\$ 19.600	\$ 39.200
5	Contactores	\$ 86	\$ 428	\$ 81.470	\$ 407.350
1	Fuente de poder (24v dc)	\$ 464	\$ 464	\$ 441.904	\$ 441.904
Total		\$ 2.016	\$ 3.542	\$ 1.919.688	\$ 3.373.308

Valor dólar 13-09-2025

952,38

TABLA 4-9_ Análisis costo de equipamiento.

4.2.3. MANTENCIÓN.

En la actualidad el equipo recibe un mantenimiento mensual, ejecutado por el personal de planta. Durante estas intervenciones se llevan a cabo tareas como el reemplazo de luces piloto, la sustitución de sensores en mal estado y el recambio de cables, en función del estado operativo en que se encuentre la máquina.

El valor estimado de dichas actividades de mantenimiento (Ver tabla 4-10) se calcula a partir del costo de los repuestos con mayor frecuencia de falla previamente mencionados.

Mantenciones mensuales		
Cantidad	Ítem	Valor
1	Mantenimiento preventiva / correctiva	\$ 1.500.000

Total	\$ 1.500.000
Valor anual	\$ 18.000.000

TABLA 4-10_ Análisis costo de mantenciones.

4.2.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL.

Finalmente, con los datos recopilados de equipamiento, mantenciones, producción y personal; se desarrollarán dos evaluaciones económicas acompañadas de sus respectivos flujos de caja. En el primer escenario, se analizará el costo asociado únicamente a las pérdidas derivadas de las detenciones por saturación del apilador Stacker. En el segundo escenario se incorporará, además, la eventualidad de una falla crítica de hardware en el PLC, la cual representaría una detención total del proceso productivo.

En este contexto, el proyecto se evaluará en todos los casos en una duración de 3 años, además de que se le aplicará una tasa de retorno del 9,73 % para ambos casos; tasa dispuesta utilizada de manera referencial para proyectos de aserraderos en Chile

4.2.5. ANÁLISIS DE FLUJO DE CAJA SIN FALLA CRITICA.

Este análisis corresponde al escenario actual de pérdidas de producción generada por los problemas de saturación previamente descritos en el capítulo 2. El elevado costo de operación es el resultado de la combinación entre el gasto asociado al personal fijo de planta, encargado de las tareas operacionales y la significativa pérdida anual de producción (Ver tabla 4-11).

Inversión inicial Maquinarias y Equipos	\$	3.373.308
Costo Personal	\$	23.457.475
Perdida detenciones	\$	777.465.670
Años de evaluación		3

Inversión Capital Propio	3.373.308
--------------------------	-----------

Año	1	2	3
Costos	\$ 800.923.145	\$ 800.923.145	\$ 800.923.145
Mantenición	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000

Flujo de Caja Neto: Financiado con Capital Propio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
(+) Inversión	3.373.308	0	0	0
(-) Ingresos		\$ -	\$ -	\$ -
(+) Costos operación		\$ 800.923.145	\$ 800.923.145	\$ 800.923.145
(+) Mantención		\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000
(+) PLC SLC 500		\$ 9.428	\$ 9.428	\$ 9.428
(+) Sensor fotoeléctrico		\$ 13.400	\$ 13.400	\$ 13.400
(+) Cables		\$ 2.819	\$ 2.819	\$ 2.819
(+) Tablero eléctrico		\$ 82.775	\$ 82.775	\$ 82.775
(+) Sensor limite		\$ 1.710	\$ 1.710	\$ 1.710
(+) Contactores		\$ 5.897	\$ 5.897	\$ 5.897
(+) Fuente de poder		\$ 32.190	\$ 32.190	\$ 32.190
(=) UAI		\$ 819.071.364	\$ 819.071.364	\$ 819.071.364
(=) U. Neta		\$ 819.071.364	\$ 819.071.364	\$ 819.071.364
(-) Venta de activos (Vs)		\$ -	\$ -	\$ -1.129.699
(-) PLC SLC 500		\$ -9.428	\$ -9.428	\$ -9.428
(-) Sensor fotoeléctrico		\$ -13.400	\$ -13.400	\$ -13.400
(-) Cables		\$ -2.819	\$ -2.819	\$ -2.819
(-) Tablero eléctrico		\$ -82.775	\$ -82.775	\$ -82.775
(-) Sensor limite		\$ -1.710	\$ -1.710	\$ -1.710
(-) Contactores		\$ -5.897	\$ -5.897	\$ -5.897
(-) Fuente de poder		\$ -32.190	\$ -32.190	\$ -32.190
(=) FCN	3.373.308	\$ 818.923.145	\$ 818.923.145	\$ 817.793.446

VAC	\$ 2.048.778.443
CAE	\$819.930.968
r	9,73%

TABLA 4-11 _ FC. Actual.

Bajo estas condiciones, el cálculo económico arroja un CAE de \$819.930.968 CLP, reflejando el alto impacto que dejan estas pequeñas detenciones consecutivas a lo largo del tiempo.

4.2.6. ANÁLISIS DE FLUJO DE CAJA ACTUAL MÁS FALLA CRÍTICA.

Este escenario corresponde a un riesgo latente que se enfrenta en la operación diaria, donde una falla crítica del PLC provocaría una detención prolongada hasta concretar la adquisición de un reemplazo. Esta situación queda reflejada en el flujo de caja (Ver tabla 4-12), en el cual se proyecta que el fallo ocurre en el primer año incrementando de manera significativa los costos de operación.

Inversión inicial Maquinarias y Equipos	\$	3.373.308
Costo Personal	\$	23.457.475
Perdida detenciones	\$	777.465.670
Perdida por falla critica PLC	\$	216.277.776
Años de evaluación		3

Inversión Capital Propio	3.373.308
--------------------------	-----------

Año	1	2	3
Costos	\$ 1.017.200.921	\$ 800.923.145	\$ 800.923.145
Mantenición	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000

Flujo de Caja Neto: Financiado con Capital Propio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
(+) Inversión	3.373.308	0	0	0
(-) Ingresos		\$ -	\$ -	\$ -
(+) Costos operación		\$ 1.017.200.921	\$ 800.923.145	\$ 800.923.145
(+) Mantenición		\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000
(+) PLC SLC 500		\$ 9.428	\$ 9.428	\$ 9.428
(+) Sensor fotoeléctrico		\$ 13.400	\$ 13.400	\$ 13.400
(+) Cables		\$ 2.819	\$ 2.819	\$ 2.819
(+) Tablero eléctrico		\$ 82.775	\$ 82.775	\$ 82.775
(+) Sensor limite		\$ 1.710	\$ 1.710	\$ 1.710
(+) Contactores		\$ 5.897	\$ 5.897	\$ 5.897
(+) Fuente de poder		\$ 32.190	\$ 32.190	\$ 32.190
(=) UAI		\$ 1.035.349.140	\$ 819.071.364	\$ 819.071.364
(=) U. Neta		\$ 1.035.349.140	\$ 819.071.364	\$ 819.071.364
(-) Venta de activos (Vs)		\$ -	\$ -	\$ -1.129.699
(-) PLC SLC 500		\$ -9.428	\$ -9.428	\$ -9.428
(-) Sensor fotoeléctrico		\$ -13.400	\$ -13.400	\$ -13.400
(-) Cables		\$ -2.819	\$ -2.819	\$ -2.819
(-) Tablero eléctrico		\$ -82.775	\$ -82.775	\$ -82.775
(-) Sensor limite		\$ -1.710	\$ -1.710	\$ -1.710
(-) Contactores		\$ -5.897	\$ -5.897	\$ -5.897
(-) Fuente de poder		\$ -32.190	\$ -32.190	\$ -32.190
(=) FCN	3.373.308	\$ 1.035.200.921	\$ 818.923.145	\$ 817.793.446

VAC	\$	2.245.878.394
CAE		\$898.811.314
r		9,73%

TABLA 4-12_ FC. Actual más falla crítica.

Como consecuencia, el CAE alcanza un valor de \$898.911.314 CLP, evidenciando el impacto económico de este evento. Es importante destacar que, además de este riesgo también se mantienen las pérdidas asociadas a las detenciones consecutivas por saturación de la línea.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROPUESTA.

En esta sección se presenta la evaluación económica del escenario propuesto, el cual incorpora las mejoras técnicas orientadas a optimizar la operación del apilador Stacker. A través de la implementación de un nuevo PLC, un sistema de medición automático y la integración de visualización en HMI, en donde se proyecta una reducción significativa de las pérdidas por detenciones, así como la eliminación del riesgo de falla crítica asociado

al hardware obsoleto. La evaluación desarrollada bajo los indicadores VAC y CAE, permitirá cuantificar el impacto económico de estas mejoras y determinar la conveniencia de su implementación en el mediano y largo plazo.

4.3.1. ANÁLISIS DE EQUIPOS PROPUESTOS.

A continuación, se analizan los precios de los equipos considerados en la propuesta de mejora, dentro de los cuales se contempla el reemplazo del PLC obsoleto, la integración de una pantalla HMI y la incorporación de un sistema de medición de largo (Ver tabla 4-13). Como parte de la solución integral, también se incluyen las licencias de software necesarias en caso de que la planta las requiera para su implementación y operación.

Equipos propuestos para la mejora		Valor dólar 13-09-2025		952,38	
Cantidad	Descripción	Costo USD	Sub total USD	Costo CLP	Sub total CLP
1	PLC S7-1200 1214dc/dc/rtly siemens	\$ 713	\$ 713	\$ 678.952	\$ 678.952
2	S7-1200 E/S Digital 16 DI/16 DO 24V DC	\$ 301	\$ 603	\$ 287.047	\$ 574.095
1	S7-1200 E/S Digital 8 DI/8 DO 24V DC	\$ 229	\$ 229	\$ 218.000	\$ 218.000
1	Hmi KTP 700 siemens	\$ 1.329	\$ 1.329	\$ 1.265.350	\$ 1.265.350
1	TIA PORTAL v19 (incluye win cc Basic)	\$ 1.624	\$ 1.624	\$ 1.547.000	\$ 1.547.000
1	DFS60B-S4PM10000	\$ 516	\$ 516	\$ 491.684	\$ 491.684
1	Acoplamiento de eje	\$ 61	\$ 61	\$ 58.401	\$ 58.401
1	Rueda medición 200 mm	\$ 268	\$ 268	\$ 255.600	\$ 255.600
1	Conector encoder m23 con cable	\$ 146	\$ 146	\$ 139.309	\$ 139.309
1	Soporte montaje sick	\$ 33	\$ 33	\$ 31.595	\$ 31.595
1	FUENTE PODER 1F/24V DC/20A QUINT/4 C/NFC	\$ 464	\$ 464	\$ 441.904	\$ 441.904
Total		\$ 5.686	\$ 5.987	\$ 5.414.842	\$ 5.701.889

TABLA 4-13_ Equipos propuestos.

4.3.2. ANÁLISIS DE COSTO DEL PERSONAL.

El proyecto contempla la medición y cubicación del material de manera automática, optimizando el proceso y eliminando la necesidad de contar con un ayudante de apoyo para el operador. Asimismo, se considera una mejora en la remuneración del operador (Ver tabla 4-14) en reconocimiento a que deberá capacitarse en el uso de las nuevas tecnologías incorporadas. Con ello, no solo se busca asegurar la correcta operación del sistema, sino también fomentar la adaptación y reducir la resistencia al cambio tecnológico, fortaleciendo la eficiencia y sostenibilidad del proceso productivo.

Personal planta fijo						
Cantidad	Cargo	Sueldo liquido	Salud	AFP	S. Cesantía	Sueldo bruto
			7%	11,16%	0,60%	
1	Operador Stackler	\$ 1.100.000	\$ 115.500	\$ 122.760	\$ 6.600	\$ 1.344.860
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
						\$ -
						\$ -
Total Trabajadores		1	Total		\$ 1.344.860	
			Valor anual		\$ 16.138.320	

TABLA 4-14 _ Mejora salarial en personal fijo.

Por otra parte, se contempla la incorporación de personal transitorio encargado de las labores de instalación y puesta en marcha del proyecto (Ver tabla 4-15); dicho personal no formará parte de la dotación fija de la máquina, por lo que se considerará únicamente un bono de alimentación como compensación adicional durante el periodo en que participen en el proceso.

Personal propuesto para Ejecución								
Cantidad	Cargo	Sueldo liquido	Salud	AFP	S. Cesantía	alimentación	Sueldo bruto	Sueldo bruto sub total
			7%	11,16%	0,60%	\$ 75.000		
1	Ingeniero.	\$ 1.650.000	\$ 115.500	\$ 184.140	\$ 9.900	\$ 75.000	\$ 2.034.540	\$ 2.034.540
2	Técnicos.	\$ 950.000	\$ 66.500	\$ 106.020	\$ 5.700	\$ 75.000	\$ 1.203.220	\$ 2.406.440
1	Previsionista de riesgos.	\$ 1.200.000	\$ 84.000	\$ 133.920	\$ 7.200	\$ 75.000	\$ 1.500.120	\$ 1.500.120
							\$ -	\$ -
							\$ -	\$ -
Total Trabajadores		4	Total		\$ 4.737.880	\$ 5.941.100		

TABLA 4-15_ Personal transitorio por proyecto.

4.3.3. DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS.

El proyecto propuesto tiene como objetivo disminuir significativamente las pérdidas de producción, reduciéndolas desde 314,8 m³ mensuales a 78,7 m³. En términos porcentuales esto implica pasar de un 29,9% de merma a solo un 7,48% (Ver tabla 4-16). Este resultado se logra principalmente al eliminar la necesidad de que el operador detenga la línea para ingresar al área de apilado, evitando interrupciones innecesarias y garantizando un flujo continuo del proceso.

Datos sin mejora					
Periodo de tiempo	Tiempo detención (h)	m ³	Valor neto CLP	USD	% de perdida
Mes	57,1167	314,85	\$ 64.788.806	\$ 68.028	29,956
Anual	685,4	3778,1	\$ 777.465.670	\$ 816.340	

Mejora de detenciones (mes)				75%	
Periodo de tiempo	Tiempo detención (h)	m ³	Valor neto CLP	USD	% de pérdida
Mes	14,279	78,711	\$ 16.197.201	\$ 17.007	7,48907
Anual	171,4	944,5	\$ 194.366.417	\$ 204.085	

TABLA 4-16_ Disminución de pérdidas.

4.3.4. TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS ASOCIADOS.

Finalmente, se estima una duración total de 12 días para la ejecución del proyecto, periodo en el cual será necesario detener el proceso productivo, con el fin de implementar los cambios propuestos (Ver tabla 4-17). Este plazo considera tanto las labores de instalación como la puesta en marcha y el comisionamiento de las mejoras, asegurando que el sistema quede plenamente operativo antes de retomar la producción.

Pérdida por detención proyecto				
Periodo de tiempo (días)	Tiempo detención (h)	m ³	Valor neto CLP	USD
12	88,000	485,084	\$ 99.820.512	\$ 104.812

TABLA 4-17 _ Costos asociados a tiempo de implementación proyecto.

4.3.5. ANÁLISIS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA PROPUESTA.

Todos los datos recopilados permiten elaborar el flujo de caja proyectado (Ver tabla 4-18), cuyo resultado arroja un CAE de \$266.780.783 CLP. Esta mejora económica se explica principalmente por la eliminación de un 22% en pérdidas asociadas a las detenciones por saturación, así como por la reducción del riesgo de una falla crítica que podría detener completamente el equipo debido a problemas de hardware en el PLC, es importante destacar que como se detalló en el capítulo 2, se cuenta con repuestos disponibles en bodega para el modelo de PLC S7-1200 propuesto, lo que garantiza continuidad operativa. Si bien la implementación inicial considera un costo mayor asociado a la detención por instalación más la contratación de personal transitorio, este desembolso se compensa en el tiempo principalmente en la reducción de paradas no programadas y la eliminación de riesgos de fallas críticas.

inv inc Maquinarias y Equipos	\$ 5.414.842
Costo Personal	\$ 16.138.320
Personal transitorio (solo por proyecto)	\$ 5.941.100
Costo por detención (Solo por proyecto ,12 días)	\$ 99.820.512
Detenciones por saturación con mejora	\$ 194.366.417
Años de evaluación	3
Capacitación solo por proyecto	\$ 850.000

Inversión Capital Propio	12.205.942		
Año	1	2	3
Costos	\$ 317.116.349	\$ 210.504.737	\$ 210.504.737
Mantenición	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000

Flujo de Caja Neto: Financiado con Capital Propio

	0	1	2	3
(-) Inversión	\$ 12.205.942	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(+) Costos	\$ 317.116.349	\$ 210.504.737	\$ 210.504.737	\$ 210.504.737
(+) Mantención	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000	\$ 13.200.000
(+) Dep. PLC S7-1200	\$ 29.895	\$ 29.895	\$ 29.895	\$ 29.895
(+) Dep. Targeta (16 I/O)	\$ 37.409	\$ 37.409	\$ 37.409	\$ 37.409
(+) Dep. Targeta (8I/O)	\$ 11.800	\$ 11.800	\$ 11.800	\$ 11.800
(+) Dep. HMI	\$ 71.535	\$ 71.535	\$ 71.535	\$ 71.535
(+) Programa Tia portal	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(+) Dep. Encoder.	\$ 37.168	\$ 37.168	\$ 37.168	\$ 37.168
(+) Dep. Acoplamiento.	\$ 3.227	\$ 3.227	\$ 3.227	\$ 3.227
(+) Dep. R. medicion.	\$ 12.040	\$ 12.040	\$ 12.040	\$ 12.040
(+) Dep. Cable encoder.	\$ 6.621	\$ 6.621	\$ 6.621	\$ 6.621
(+) Dep. Soporte montaje.	\$ 1.773	\$ 1.773	\$ 1.773	\$ 1.773
(+) Fuente poder.	\$ 32.190	\$ 32.190	\$ 32.190	\$ 32.190
(=) UAI	\$ 330.560.008	\$ 223.948.396	\$ 223.948.396	\$ 223.948.396
(=) U. Neta	\$ 330.560.008	\$ 223.948.396	\$ 223.948.396	\$ 223.948.396
(-) Dep. PLC S7-1200	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -2.284.477
(-) Dep. PLC S7-1200	\$ -29.895	\$ -29.895	\$ -29.895	\$ -29.895
(-) Dep. Targeta (16 I/O)	\$ -37.409	\$ -37.409	\$ -37.409	\$ -37.409
(-) Dep. Targeta (8I/O)	\$ -11.800	\$ -11.800	\$ -11.800	\$ -11.800
(-) Dep. HMI	\$ -71.535	\$ -71.535	\$ -71.535	\$ -71.535
(-) Programa Tia portal	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Dep. Encoder.	\$ -37.168	\$ -37.168	\$ -37.168	\$ -37.168
(-) Dep. Acoplamiento.	\$ -3.227	\$ -3.227	\$ -3.227	\$ -3.227
(-) Dep. R. medicion.	\$ -12.040	\$ -12.040	\$ -12.040	\$ -12.040
(-) Dep. Cable encoder.	\$ -6.621	\$ -6.621	\$ -6.621	\$ -6.621
(-) Dep. Soporte montaje.	\$ -1.773	\$ -1.773	\$ -1.773	\$ -1.773
(-) Fuente poder.	\$ -32.190	\$ -32.190	\$ -32.190	\$ -32.190
(=) FCN	\$ 12.205.942	\$ 330.316.349	\$ 223.704.737	\$ 221.420.260

VAC	\$666.610.653
CAE	\$266.780.783,3
r	9,73%

TABLA 4-18_ Flujo de caja propuesto.

COMPARATIVA DE PROPUESTAS.

El análisis realizado permite visualizar de manera clara las ventajas de la propuesta sobre la operación actual del apilador Stacker. Por un lado, el sistema en uso presenta un menor costo inicial en términos de equipamiento teniendo en cuenta que los equipos ya están obsoletos o con uso, sin embargo, su permanencia expone a la planta a riesgos críticos como la falla del PLC obsoleto (Ver tabla 4-20) y la pérdida recurrente de producción por saturación (Ver tabla 4-19), lo que se traduce en altos costos operativos acumulados.

En contraste, la propuesta de mejora implica un mayor desembolso en la etapa inicial por la incorporación de nuevos equipos, software y personal transitorio para la implementación, no obstante, esta inversión se ve compensada en el mediano plazo al reducir significativamente las detenciones, asegurar la continuidad operativa y eliminar el riesgo de falla crítica del hardware. En consecuencia, el costo anual equivalente (CAE) de la alternativa propuesta resulta sustancialmente inferior al del escenario actual, validando su factibilidad técnica y económica como una solución sostenible para la planta.

	Equipo actual con detenciones		Propuesta de mejora	
Análisis de equipos.	\$	3.373.308	\$	5.414.842
Análisis de personal fijo .	\$	23.457.475	\$	16.138.320
Análisis de personal transitorio.	\$	-	\$	5.941.100
VAC.	\$	2.048.778.443	\$	666.610.653
CAE.	\$	819.930.968	\$	266.780.783

TABLA 4-19_ Comparativa 1.

	Equipo actual con detenciones + falla crítica		Propuesta de mejora	
Análisis de equipos.	\$	3.373.308	\$	5.414.842
Análisis de personal fijo .	\$	23.457.475	\$	16.138.320
Análisis de personal transitorio.	\$	-	\$	5.941.100
VAC.	\$	2.245.878.394	\$	666.610.653
CAE.	\$	898.811.314	\$	266.780.783

TABLA 4-20_ Comparativa 2.

CONCLUSIÓN.

El proyecto desarrollado permitió abordar una problemática crítica asociada a las detenciones no programadas que ocurren en pequeños lapsos de tiempo, pero consecutivas en la operación habitual de la línea de apilado Stacker, la cual provoca pérdidas productivas que se hacen significativas en el transcurso del tiempo. Por otra parte, se permite dar una alerta temprana a una falla que provocaría la detención total por la obsolescencia del equipamiento de control. Gracias a los estudios realizados se puede cuantificar los costos asociados a este evento.

Se demostró que a través de la integración de nuevas tecnologías como la migración del PLC a una plataforma vigente, la incorporación de un sistema de medición automática mediante encoder, la implementación de visualización de datos en HMI y finalizando con la conexión a Matrikon OPC dispuesta en planta para la adquisición de datos, se logra diseñar una solución que no solo optimiza la producción, sino que también incrementa la seguridad del personal, al reducir la necesidad de intervención manual en la línea.

Los análisis económicos sustentados en indicadores como el VAC y el CAE, demostraron la factibilidad de la propuesta al reflejar un impacto positivo en la reducción de pérdidas por saturación y en la eliminación del riesgo de falla crítica del hardware. Asimismo, se evidenció que la inversión inicial se compensa en el mediano plazo gracias a los beneficios de la continuidad operativa.

En términos generales, la investigación válida que la modernización tecnológica no solo es viable, sino que resulta imprescindible para asegurar la competitividad y sostenibilidad del proceso. De este modo, se concluye que la propuesta es una alternativa efectiva que combina eficiencia operativa y seguridad industrial, representando un aporte significativo para la gestión de la planta en el mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aircontrol. (s.f.). *Cilindros hidráulicos*.
Recuperado de <https://www.aircontrol.es/es/cilindros-hidraulicos/>
- AWS. (s.f.). *¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?*
Recuperado de <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>
- CMPC. (2024). *Empresas CMPC: 95 años de historia, presente y futuro*.
Recuperado de <https://www.cmpc.com/empresas-cmpc-95-a%C3%B1os-de-historia-presente-y-futuro/>
- Equipos Hidráulicos. (s.f.). *¿Qué son las válvulas direccionales hidráulicas?*
Recuperado de <https://equipos-hidraulicos.com/blog/que-son-las-valvulas-direccionales/>
- Festo. (s.f.). *Válvulas direccionales neumáticas: actuadas eléctrica y neumáticamente*.
Recuperado de https://www.festo.com/in/en/c/products/valves-and-valve-terminals/electrically-and-pneumatically-actuated-directional-control-valves-id_pim115/
- Haas Automation. (s.f.). *¿Qué es un solenoide?*
Recuperado de <https://www.haascnc.com/es/Community/Blog/que-es-solenoide.html#gsc.tab=0>
- Matrikon OPC. (s.f.). *OPC Servers*.
Recuperado de <https://www.matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx>
- Matrikon OPC. (s.f.). *Driver OPC para Siemens*.
Recuperado de <https://www.matrikonopc.es/drivers/opc-siemens.aspx>
- OMCH. (s.f.). *Sensor fotoeléctrico de barrera (Through-beam sensor)*.
Recuperado de <https://www.omchsmcs.com/es/through-beam-photo-electric-sensor/>
- Siemens AG. (2017). *Manual del sistema SIMATIC S7-1200*.
Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att_42774/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

ANEXOS

- Cotizaciones de PLC Siemens _ <https://www.dartel.cl/s7-1200-1214c-cpu-ac-de-rly14di-10d0-2ai-1888123176-siemens/p>
- Cotizaciones de PLC Allen Bradley _ <https://electricchile.com/producto/2080-150e-24awb-allen-bradley/>
- Cotización encoder sin contacto _ https://us.rs-online.com/product/sick/ncv50b-11ec0102000/73506168/?srsltid=AfmBOorqtJCu71amiUkF0ekr0v3v5OnA3hf6dQ0AResX3f3I_wnwp98z
- Cotización encoder rotatorio _ <https://cl.rsdelivers.com/product/sick/dfs60b-s4pm10000/1036724/encoder-incremental-sick-serie-dfs60-10000ppr/rev-9000rpm-max-salida-ttl/htl-con-cable-32-v-ip65-ip67/2667562>