

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

**UPGRADE AL SISTEMA DE CONTROL DE DEPOSITO Y DESCARGA DE
QUILLAY ASTILLADO**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero en Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN
INDUSTRIAL

Alumno:

Manuel Ricardo Ruiz Gómez

Profesor Guía:

Ing. Sergio Riquelme Bravo

2019

RESUMEN

Keywords: ET200M – Profibus – PLC – quillay

La razón de ser de una empresa es obtener un beneficio a través de un servicio o producto. Para esto una compañía química como BASF Chile S.A. ha destinado una gran cantidad de recursos e investigación para poder competir en una amplia variedad de campos de producción.

Uno de esos campos de producción es la agricultura, donde BASF Chile S.A. ha desarrollado una serie de productos derivados del extracto acuoso del quillay, como lo es, el nematocida orgánico QL Agri 35, el coadyuvante Elenquo y el fertilizante y bioestimulante Pholus. El quillay es un árbol endémico de la zona centro sur de Chile y el extracto acuoso de este árbol contiene principalmente saponinas, polifenoles, azúcares y sales.

En 2013 se instaló en el site de Concón de BASF Chile S.A., la planta de extracto de quillay en la que se envasan los 3 productos antes mencionadas. Esta planta se conforma por una línea productiva que tiene una sección de astillado, almacenamiento y descarga, extracción, filtrado y ajuste, evaporación, almacenamiento y por último una sección de envasado. El presente trabajo de título está enfocado en realizar una mejora a la sección de almacenamiento y descarga.

Esta sección presenta constantemente fallas en los cilindros hidráulicos que generan el movimiento de la estructura móvil y a su vez genera problemas o hasta hace imposible la descarga del material astillado a la sección de extracción. Este problema se existe desde la concepción original e implementación de la planta.

Lo que se busca en este trabajo de título es mejorar el rendimiento del sistema completo mediante la automatización del mismo y para esto se abordan un par de soluciones parciales y totales, las que se analizan en el desarrollo de la solución.

El enfoque principal, es utilizar la tecnología instalada por el sistema de control de la planta, como lo son el PLC ABB AC800F, el PLC Siemens S7-1200, la red Profibus-DP o los módulos ET200M y agregar elementos que permitan mejorar el rendimiento del proceso como lo son los sensores inductivos, transmisores de presión y nivel para evitar daños a los equipos y pérdidas originadas por detenciones no programadas.

ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	2
1. ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1. HISTORIA DE BASF	4
1.1.1 1865 a 1901, nacimiento de la Industria Química y la era de los tintes	4
1.1.2 1902 a 1924: El proceso Haber-Bosch y la era de los fertilizantes	4
1.1.3 1925 a 1944: Nuevas formas de síntesis de alta presión	5
1.1.4 1945 a 1964: Un nuevo comienzo y el amanecer de la era de los plásticos	5
1.1.5 1965 a 1989: El camino para transformarse en una multinacional	5
1.1.6 1990 a 2019: Comienzo sustentable al nuevo milenio	5
1.2. AGRO QL	6
1.2.1 Identificación del problema	6
1.2.2 Idea de mejora	7
1.3 PROPUESTAS DE MEJORA Y SOLUCIÓN	8
1.3.1 Mantener el sistema actual	8
1.3.2 Ejecución de la mejora parcial	9
1.3.3 Ejecución de la mejora total	9
1.3.4 Elección de la solución	11
1.4 OBJETIVOS	12
1.4.1 Objetivo General	12
1.4.2 Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	13
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	14
2.1 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO ACTUAL	14
2.1.1 Carga de material triturado	14
2.1.2 Silo de almacenamiento y descarga	14
2.1.3 Elevación y extracción	15
2.2 SISTEMA DE CONTROL ACTUAL	15
2.2.1 Sistema de control silo	16
2.3 ELEMENTOS DEL NUEVO SISTEMA	18
2.3.1 Cilindros hidráulicos	19
2.3.2 Sensores P&F NB10-30GKK-W0	19

2.3.3	Transmisor E+H Cerabar S PMP71	20
2.3.4	Transmisor de nivel de radar FMR67 con indicador de campo RIA16	21
2.3.5	Sensor y transmisor de temperatura Omnigrad S TR66	22
2.3.6	Módulos ET200M	23
2.3.7	Módulos de conexión Simatic Top	23
2.3.8	Simocode PRO V y Schneider contactor, guardamotor y relé de sobrecarga	25
2.3.9	Tablero, cables y elementos menores	26
2.3.9.1	RITTAL AE1008.600	26
2.3.9.2	Bornes de paso	27
2.3.9.3	Riel DIN	27
2.3.9.4	PSU Phoenix Contact UNO 24VDC/240W	27
2.3.9.5	Cables de control	27
2.4	SOFTWARE PARA EL DESARROLLO	27
2.4.1	AutoCAD Electrical 2017	28
2.4.2	AutoCAD Plant 3D 2017	28
2.4.3	TIA Portal V15	29
2.4.4	Freelance 2013	30
2.5	DESARROLLO DE LA MEJORA	31
2.5.1	Creación de tabla de variables	32
2.5.2	Generación del programa de control del silo	34
2.5.2.1	Creación de página de programación FBD	34
2.5.2.2	Descripción del programa FBD y secuencia de funcionamiento.	35
2.5.3	Secuencia del programa	36
2.5.4	Creación de módulos y variables	37
2.5.3.1	Inserción de variables análogas	38
2.5.3.2	Inserción de entradas digitales	39
2.5.3.3	Inserción de salidas digitales	40
2.5.4	Creación de la pantalla	40
2.6	SOLUCIÓN DE INGENIERÍA	41
2.6.1	Identificación del problema	41
2.6.2	Recolección de información	42
2.6.3	Búsqueda de soluciones	42
2.6.4	Idea y prediseño	43
2.6.5	Planos del proyecto	43
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE COSTOS		46
3.	EVALUACIÓN DE COSTOS	47
3.1	ADQUISICIÓN DE ELEMENTOS	47

3.1.1	Transmisores de nivel y presión	47
3.1.2	Sensores inductivos Pepperl & Fuchs NB10-30GKK-W0	49
3.1.3	Cilindros hidráulicos Prince	50
3.1.4	Módulos ET200 y Simatic TOP	51
3.1.5	Módulos SIMOCODE pro V	52
3.1.6	Tableros, cables y componentes menores	53
3.1.7	Resumen de costos por elementos	54
3.2	DESIGNACIÓN DE TAREAS Y LICITACIONES	55
3.2.1	Fabricación de soportes para sensores y brida para transmisor de presión	55
3.2.2	Instalación de cilindros	56
3.2.3	Instalación de canalizaciones y tablero TCT.E801.1	57
3.2.4	Instalación de la instrumentación y cableado	57
3.2.5	Programación de variables, FBD y HMI en OS	58
3.2.6	Pruebas de conexión, funcionamiento y puesta en marcha	59
3.3	COSTOS POR FALLA Y COMPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN	60
3.3.1	Descripción de los costos por falla de silo	60
3.3.2	Comparación con el costo del proyecto	61
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	63

SIGLAS

AI	: Analog Input, Entrada analógica
AC 800F	: Modelo de controlador de la marca ABB
BASF	: Badische Anylin und Soda Fabrik
CAD	: Computer Assigned Design (Diseño asistido por computador)
CB F	: Control Builder F, Software de ingeniería de ABB
DCS	: Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)
DI	: Digital Input, Entrada Digital
DO	: Digital Output, Salida Digital
E/S	: Estradas y Salidas
ET200	: Modulo de periferia centralizada de Siemens
GSD	: General Station Description File (Archivo de descripción de estaciones)
HMI	: Human Machine Interface (Interface Maquina Humano)
Ladder	: Escalera, lenguaje de programación grafico básico para PLC
OLE	: Object Linking and Embedding, (Sistema y protocolo de objetos distribuido)
OPC	: OLE for Process Control, estándar de comunicación industrial
PLC	: Programador Lógico Controlable
PROFIBUS	: Protocolo de comunicación industrial
S.A.	: Sociedad Anónima
Site	: Denominación que da BASF a sus sedes a lo largo del mundo
STEP 7	: Software integrado en TIA Portal para la programación de equipos
TASKS	: Tareas de instrucciones a ejecutar en Freelance
TIA	: Totally Integrated Automati3n, software de ingeniería de Siemens
WINCC	: Software integrado en TIA Portal para controlar los sistemas Siemens

SIMBOLOGÍA

bar	: unidad de presión equivalente a 1 millón de barias o 1 atmosfera
BSP	: British Estándar Pipe, (estándar británico utilizado para tuberías y pernos)
cm	: centímetro
Hz	: hertz, unidad de frecuencia
lbs	: libras
m	: metro
m3	: metro cubico
mA	: miliamperio

mm : milímetro

psi : pound square inch, unidad de presión del sistema imperial

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Vista frontal zona de triturado de madera planta Agro QL	3
Figura 1-2	Silo de almacenamiento y un estanque de extracción	7
Figura 1-3	Diagrama de flujo simplificado nuevo proceso de descarga del silo	10
Figura 2-1	Interior del silo de almacenamiento.	15
Figura 2-2	Tablero de control silo.	16
Figura 2-3	Interruptor de límite de carrera	17
Figura 2-4	Disposición inferior de dos de los cilindros hidráulicos	18
Figura 2-5	Cilindro hidráulico de 3000 [psi].	19
Figura 2-6	Sensor inductivo P&F NB10	20
Figura 2-7	Transmisor de presión absoluta Cerabar S	21
Figura 2-8	Transmisor FMR67 e indicador de campo RIA16	21
Figura 2-9	Sensor y transmisor de temperatura Omnigrad S TR66	22
Figura 2-10	Módulo ET200M del RACK-01	23
Figura 2-11	Módulos Simatic Top para ET200M	25
Figura 2-12	Configuración de hardware típica SIMOCODE pro V	26
Figura 2-13	Extracto plano L8010 en AutoCAD Electrical 2017	28
Figura 2-14	Extracto del plano estructural E801 con cilindros y tablero nuevo	26
Figura 2-15	Vista de redes del proyecto AGRO en TIA portal V13	29
Figura 2-16	Vista del árbol de proyecto con bloque FBD Control Builder F	31
Figura 2-17	Menú del proyecto e inserción de FBD	35
Figura 2-18	Extracto de programa FBD, habilitación e inicio de secuencia.	36
Figura 2-19	Vista de la estructura de hardware del AC800F	38
Figura 2-20	Creación de variables análogas	39
Figura 2-21	Modulo de 32 DI en Control Builder F	40
Figura 2-22	Pantalla silo con indicación de funcionamiento y señales analógicas	41
Figura 2-23	Diagrama de flujo solución de ingeniería	43
Figura 2-24	Plano de nuevas señales analógicas	44
Figura 2-25	Extracto de plano solenoides cierre cilindros	44
Figura 2-25	Extracto P&ID proceso madera, central hidráulica	45
Figura 3-1	Selección de RIA16 mediante E-Direct Shop	48
Figura 3-2	Selección del transmisor ultrasónico equivalente al FMR67	48
Figura 3-3	Selección del transmisor de presión relativa	48
Figura 3-4	Selección y precio del módulo de temperatura	49
Figura 3-5	Modelo actualizado y nuevo del cilindro hidraulico PRINCE	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Tabla de puntuación de alternativas de mejora.	8
Tabla 1-2	Comparación de puntajes de las alternativas de mejora.	11
Tabla 2-1	Tabla de variables y señales	32
Tabla 3-1	Costo de los transmisores e indicador de campo	49
Tabla 3-2	Costo estimado sensores inductivos	50
Tabla 3-3	Costo de cilindros tie rod marca prince	50
Tabla 3-4	Costo módulos ET200	51
Tabla 3-5	Costo módulos simatic Top	51
Tabla 3-6	Costo componentes SIMOCODE pro V	53
Tabla 3-7	Costo elementos menores	54
Tabla 3-8	Resumen de costos por elementos	55
Tabla 3-9	Costos por fabricación e instalación de piezas	56
Tabla 3-10	Costos por instalación de cilindros	56
Tabla 3-11	Costos por cableado	57
Tabla 3-12	Costos por instalar Instrumentación y cableado	58
Tabla 3-13	Costos por puesta en marcha	59
Tabla 3-14	Resumen de costos elementos e implementación	59
Tabla 3-15	Costo diario por detención no programada	61
Tabla 3-16	Comparación de costos	61

INTRODUCCIÓN

BASF Chile S.A. es una sucursal de la multinacional BASF AG. y se ubica en el camino a Quintero 201, Quintero. En su sede de Concón, esta empresa cuenta con varias sub plantas productivas que generan diversos productos, utilizados en distintos tipos de rubros, como lo son el alimenticio, agrícola, manufactura, plásticos, pinturas, etc.

Dentro de ella, la planta AP o AGRO QL, instaurada a mediados del año 2013, se encarga del procesamiento, extracción y envasado de nematicida como el QL Agri, el que se crea a partir del Quillay, un árbol endémico de la zona centro-sur de Chile.

Desde la concepción de la planta el proceso que se encuentra entre el triturado de la madera y la extracción del producto es el almacenamiento del material triturado en un silo. Su posterior depósito en los estanques extractores se realiza mediante un sistema de cuchillas que se mueven alternadamente para desplazar, poco a poco,

el producto a una cinta transportadora que se conecta a un elevador de capachos que deposita el material triturado en los estanques de extracción.

Este sistema de depósito de material triturado en la cinta transportadora es comandado por un sistema de control electrohidráulico, secuencial que se basa en las cuchillas mismas, una central hidráulica, 8 pistones hidráulicos, interruptores de carrera y una botonera de partida y detención.

En los cuatro años que lleva implementada la planta, esta se ha detenido por falla del silo en 6 ocasiones, en todas ellas, los costos de mantenimiento y reparación junto a las demoras en la entrega del producto han puesto a la planta en una situación delicada, pero no se ha tomado una solución final hasta ahora.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

La fábrica de Concón de BASF Chile S.A., mostrada en la figura 1-1, concentra la mayor parte de las actividades productivas de la empresa en el país. En sus instalaciones se fabrican variados productos y se encuentran las áreas de Ingeniería, laboratorios, bodegas, maestranza, residuos, sistemas de seguridad y las plantas productivas encargadas de la elaboración de los productos. Estas plantas son Dispersiones, Palatal, Styropek y Agro QL.

La fábrica invierte constantemente en nuevas tecnologías para entregar un producto de excelente calidad que cumpla con todas las exigencias para su posterior comercialización y exportación y la mayor parte de la producción de las 4 plantas se exporta principalmente a países de Latinoamérica y corresponde a productos esenciales para las industrias del cuero, papel, construcción, pinturas, embalajes, agricultura, textiles, entre otros.

Este trabajo de título se desarrolla en la planta AP o Agro QL ubicada dentro del recinto perteneciente a BASF Chile S.A.

En este upgrade al sistema de control de depósito y descarga de quillay astillado, se define el problema a solucionar mediante un proyecto de mejora, el desarrollo de la solución y los costos asociados a la implementación de la mejora.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-1. Vista frontal zona de triturado de madera planta Agro QL

1.1. HISTORIA DE BASF

El trabajo de título se desarrolla en la planta química BASF Chile en el Site Concón ubicada en el sector costero de la ciudad de Quintero. Esta planta es una de las tres que posee la multinacional BASF SE en Chile y es la encargada de la producción de materias primas tales como dispersiones, resinas industriales y saponinas.

1.1.1 1865 a 1901, nacimiento de la Industria Química y la era de los tintes

“Badische Anilin und SodaFabrik” posteriormente conocida como BASF por las iniciales de su nombre original, fue fundada el 6 de abril de 1865 en Mannheim. La joven compañía se enfoca en producir tinturas y todos los químicos inorgánicos necesarios para producirlas. Cuando los intentos de comprar un terreno en el lado badense del río Rin en Mannheim fallan, las instalaciones son construidas en la rivera opuesta del río, en Ludwigshafen, en ese tiempo parte del reino de Bavaria.

Friedrich Engelhorn, fundador de la compañía está empeñado en desarrollar nuevos tintes naturales y sintéticos para suplir la demanda textil existente en esa época, es por esto que mediante la compañía y la contratación de destacados físicos y químicos, comienzan las investigaciones y pruebas, logrando desarrollar tintes naturales de mayor resiliencia en las telas y formas más económicas de desarrollarlos.

En 1901, René Bohn, descubre un nuevo tinte azul, llamada “azul indantreno RS” que sobrepasa a todos los tintes anteriores en solidez de color e iluminación, dando comienzo a una nueva era de desarrollo y superación de tecnologías.

1.1.2 1902 a 1924: El proceso Haber-Bosch y la era de los fertilizantes

BASF comienza tempranamente un proceso de investigación sobre el nitrógeno apenas había comenzado el siglo. Un trabajo propuesto por el profesor de la Universidad Técnica de Karlsruhe, Fritz Haber, levanta la posibilidad de sintetizar amoníaco, un compuesto del nitrógeno y el hidrogeno, mediante la creación de un proceso que requiere altas presiones, altas temperaturas, catalizadores y resistencias de los materiales mucho mayores a las actuales. Bajo la dirección de Carl Bosch, BASF toma el trabajo de desarrollar el proceso designado, pero en escala industrial.

1.1.3 1925 a 1944: Nuevas formas de síntesis de alta presión

BASF cimienta su experticia en el proceso Haber-Bosch y descubre nuevas áreas de aplicación para la tecnología de alta presión, tales como la hidrogenación del carbón para generar combustibles sintéticos y la producción de gomas sintéticas. Estas actividades se desarrollan en “IG Farbenindustrie Aktiengesellschaft”, formada al fusionar BASF y otras 5 grandes compañías químicas en 1925.

1.1.4 1945 a 1964: Un nuevo comienzo y el amanecer de la era de los plásticos

Al terminar la segunda guerra mundial, un tercio de todas las instalaciones de BASF en las cercanías del río Rin se encuentran en ruinas. Se ha perdido más del 45% de productividad, pero al comenzar las labores de post guerra, edificio tras edificio son reconstruidos y la producción continua.

El 30 de enero de 1952, BASF Aktiengesellschaft es fundada de nuevo bajo la administración militar francesa. En estos años comienzan la desintegración con IG Farben. y la compañía comienza su funcionamiento solo con las líneas productivas de Ludwigshafen.

En 1951 se descubre el plástico destinado a conquistar el mercado mundial: Styropor. La espuma blanca rígida consiste de 98% de aire y captura el atributo clave del aire: sus excelentes propiedades aislantes. Este material se hace especialmente famoso para aislar techos, paredes y cielos, además de sus aplicaciones para embalar productos delicados o comidas congeladas.

En 1956, la síntesis de hidroxilamina mediante la hidrogenación catalítica de óxido nitroso con hidrogeno, hace posible producir “caprolactam”, un precursor de las fibras poliamidas sintéticas.

1.1.5 1965 a 1989: El camino para transformarse en una multinacional

La explosión económica en la República Federal de Alemania continua hasta mediados de los años 60, pero en 1967 el país cae en su primera recesión económica. Su producto domestico total disminuye en un 0.2% en vez de subir un 8% como lo hizo el año anterior. En vez de existir escases de mano de obra ahora existe escases de trabajos.

1.1.6 1990 a 2019: Comienzo sustentable al nuevo milenio

En el mayor giro político de 1989 y 1990 y en los mercados emergentes de la Alemania oriental y el este de Europa, BASF rápidamente reconoce las oportunidades de crecimiento. Adquiere el site Schwarzeide en uno de los nuevos estados de la República Federal de

Alemania. También expande incrementalmente su presencia global invirtiendo en los mercados emergentes del sur y este de Asia y al construir dos sites Verbund en Kuantan, Malasya y Nanjing, China.

1.2. AGRO QL

La planta QL AGRO posee varias etapas para desarrollar su producto terminado. Primero toma los árboles de quillay ya cortados traídos desde los bosques del sur de Chile y se procesan mediante una trituradora de madera industrial de rodillo móvil que tiene una capacidad aproximada de carga de 1 [m³] por carga. Una vez triturada la materia prima esta avanza mediante cintas transportadoras hasta el silo de almacenamiento que tiene una capacidad de 100 [m³]. Desde este silo, el material triturado es depositado según se requiera en una cinta transportadora y posteriormente en un elevador de capachos, que a su vez se deposita en otra cinta transportadora que culmina en tres estanques de extracción. Una vez que comienza el proceso de extracción, el concentrado de quillay se dirige hacia la segunda parte de la planta donde es procesado y refinado para obtener el producto terminado que luego es exportado a países de Latinoamérica como Colombia, Ecuador y México, además de ser comercializado en el país.

1.2.1 Identificación del problema

El proceso de depósito del material triturado desde el silo hacia la cinta transportadora es donde se centra este trabajo de título. A lo largo de su implementación en el año 2013, esta parte del proceso ha sufrido daños considerables en sus elementos, lo que ha producido detenciones no programadas y costos no planificados por las mismas reparaciones asociadas. Estos daños se originan en el hecho que todo el proceso de depósito de material a la cinta transportadora está comandado por un sistema de control electrohidráulico y secuencial. Este sistema funciona de la siguiente forma: Primero un operador da la partida a la botonera de inicio del proceso y con esto enciende la central hidráulica. En segundo lugar y dependiendo de los interruptores de carrera instalados de cada cilindro que estén actuados, se activan los cilindros correspondientes a esa etapa de la secuencia. Por último, cuando los cilindros llegan al final de su carrera, continua la secuencia, la cual es que todos los cilindros que han actuado uno a uno, vuelvan a su posición original dando inicio a una nueva secuencia.

El problema radica en que el sistema no tiene ningún tipo de instrumento que pueda medir las variables de presión hidráulica de la central que se ve reflejada en los cilindros, o el

tiempo de activación de salida o retorno de los cilindros ni el estado de la carrera de los mismos o el nivel de material acumulado en el silo que ejerce presión directa en las cuchillas y afecta el funcionamiento de los cilindros.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno

Figura 1-2 – Silo de almacenamiento y un estanque de extracción

1.2.2 Idea de mejora

Para eliminar el problema identificado, la solución más viable es mejorar e integrar el sistema de control del silo, mostrado en la figura 1-2, dentro del sistema de control de la planta, algo que durante la concepción inicial del proyecto no se realizó, ya sea por falta de recursos o por falta de experiencia del departamento de ingeniería.

Se considera agregar elementos de control para monitorear las variables más relevantes del proceso como lo son la presión hidráulica del sistema, la carrera de los cilindros hidráulicos y el nivel de llenado del silo. También se debe agregar un bloque de control al programa de la planta para poder operar el funcionamiento del silo ya que lo que se busca es crear un

funcionamiento automático y secuencial, pero que, en caso de falla o demora en el tiempo de desplazamiento de algún cilindro, pueda continuar con el paso siguiente. También se agregan alarmas de proceso para presiones elevadas del sistema, tiempos de actuación de cilindros elevados y pantallas de accionamiento y detención del proceso de descarga de material a la cinta transportadora.

1.3 PROPUESTAS DE MEJORA Y SOLUCIÓN

Para la realización del proyecto se estipulan tres propuestas de mejora al problema de la descarga del material desde el silo de almacenamiento. Se evalúa dejar el sistema actual tal y como se encuentre mostrando lo inconveniente que es desde el punto de vista del tiempo y los costos de mantenimiento. Se evalúa mejorar el sistema parcialmente mediante la adquisición de algunos elementos nuevos, la reutilización de los elementos del sistema actual y un cambio en la comunicación y programación del sistema. Por último, se evalúa renovar todos los elementos de control actuales y la compra de otros equipos, además de establecer la comunicación con el sistema de control central y crear interfaces para una manipulación más sencilla del sistema. Todas estas propuestas se ven detalladas a continuación y son evaluadas de acuerdo a las características dispuestas en la tabla 1-1 para la puntuación de las alternativas de mejora.

Tabla 1-1. Tabla de puntuación de alternativas de mejora.

Tabla de puntuación de alternativas de solución				
Muy deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Optimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

1.3.1 Mantener el sistema actual

En este caso se mantiene el sistema de descarga de material triturado tal como está. El sistema sigue funcionando en forma secuencial y sin monitoreo de variables lo que mantiene la probabilidad de fallas en los cilindros, detenciones de planta y mantenciones no programadas con los costos que esto conlleva.

1.3.2 Ejecución de la mejora parcial

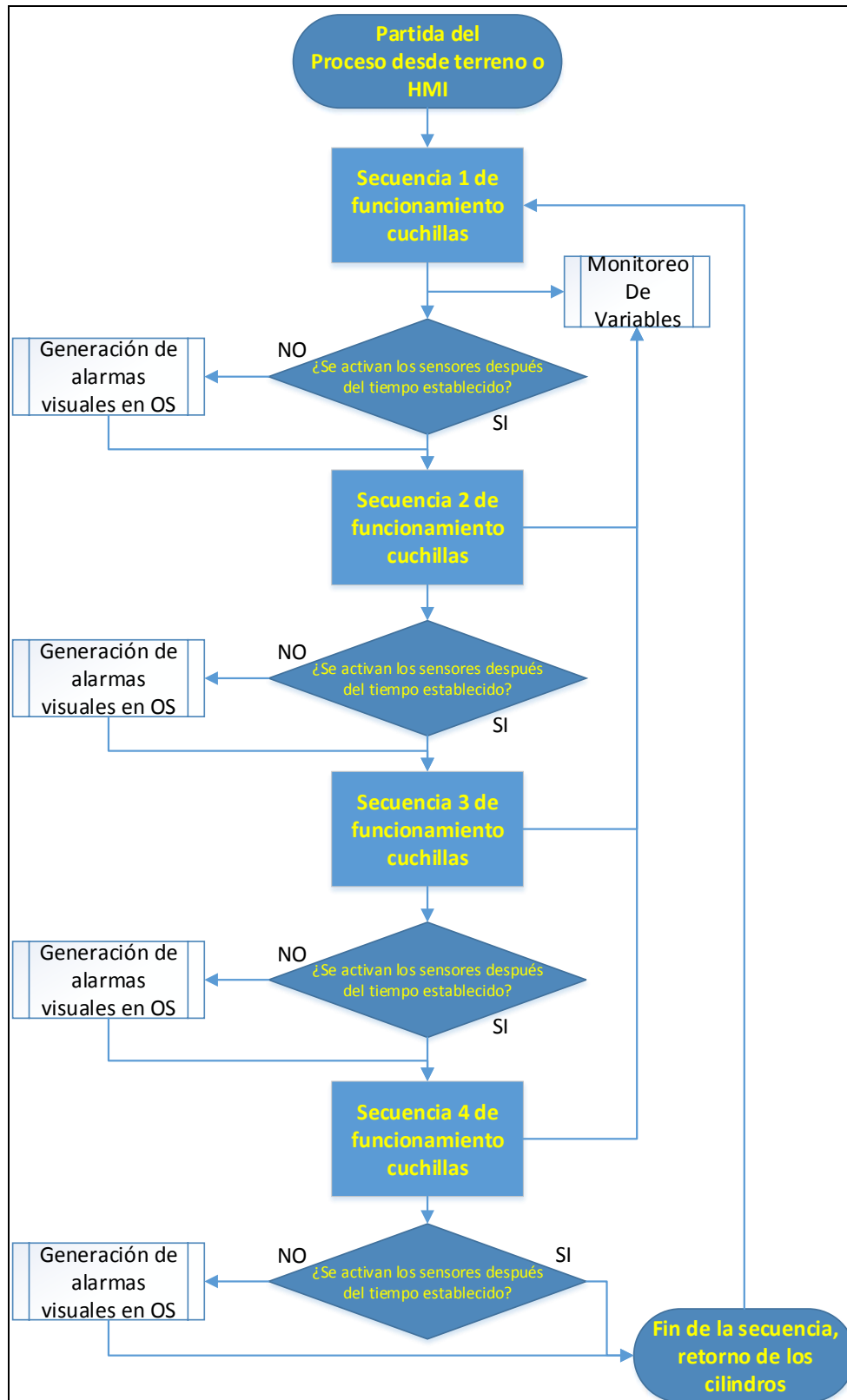
En la ejecución de la mejora parcial, se considera el estado de los cilindros y se evalúa cuáles están en mejor condición para ser reutilizados. Los que poseen mayor desgaste son desechados y reemplazados por cilindros nuevos de las mismas características. Se eliminan los interruptores de carrera y se reemplazan por sensores inductivos de inicio y fin de recorrido en todos los cilindros del sistema. la presión de la central hidráulica es monitoreada mediante un transmisor de presión de 4 a 20 [mA]. La integración de la etapa de descarga de material triturado al sistema de control se realiza mediante módulos ET200 que se comunican mediante PROFIBUS DP con el sistema de control central. Además, se generan una pantalla en la Estación de Operación para monitorear en tiempo real el estado de las cuchillas en base a los sensores inductivos y el transmisor de presión.

1.3.3 Ejecución de la mejora total

En esta propuesta, se ofrece reemplazar la totalidad de los elementos de control que conforman el silo. Primero se cambian los cilindros ya desgastados y sometidos a sobrepresiones por cilindros nuevos. A cada cilindro hidráulico se le acoplan 2 sensores inductivos para tener referencia de las posiciones iniciales y finales de cada uno. Esto para facilitar el monitoreo y la ejecución del nuevo programa que se pretende implementar. Al igual que la solución anterior se instala un transmisor de presión y uno de temperatura de 4 a 20[mA] en la central hidráulica y se instala un transmisor de nivel de radar en el techo del silo con un indicador digital de campo para mantener a los operadores de terreno al tanto del estado de llenado del mismo. Estas 3 señales analógicas y las 16 señales digitales son dirigidas al tablero +PQL.TCT.E801.1, que debe ser instalado en un costado del silo, con una fuente de poder de 24V y varias series de regletas de conexión, para luego llevar dichas señales al tablero RACK01 que es donde se concentran las señales de esta parte de la planta. En este tablero las señales son centralizadas y comunicadas con el sistema de control de la planta mediante red PROFIBUS DP.

Una vez finalizada la etapa de implementación física continua la etapa de programación, en esta, se programa el nuevo funcionamiento de las cuchillas del silo. Al programar los cilindros para que funcione de inicio a fin de su carrera, pero en el caso de no llegar hasta el final, mediante temporización se puede pasar al siguiente cilindro. De esta forma las tensiones mecánicas a las que se está sometiendo el sistema en la actualidad, se ven disminuidas al permitir el movimiento continuo del sistema, aunque no consiga la totalidad de la carrera.

La figura 1-3 muestra un diagrama de flujo con el funcionamiento simplificado de la secuencia de los cilindros de la mejora total.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-3. Diagrama de flujo simplificado del nuevo proceso de descarga del silo.

1.3.4 Elección de la solución

Se escoge la alternativa de la ejecución total de la mejora, ya que conlleva una mayor confiabilidad de los equipos y el conjunto del sistema, aunque en un comienzo sea más costosa, en el largo plazo es lo más conveniente.

Esta solución posee un alto grado de innovación al automatizar por completo el proceso de descarga de material triturado y propone beneficios a corto plazo en cuanto al mantenimiento del silo.

Al implementar esta solución se busca eliminar los tiempos de detención por falla de los cilindros y la central hidráulica, siempre y cuando la mantención preventiva de los equipos se realice cuando corresponda. De acuerdo a esto la alternativa que más se acomoda a lo necesitado es la mejora total como lo muestra la tabla 1-2.

Tabla 1-2. Comparación de puntajes de las alternativas de mejora.

Característica	Sistema Actual	Mejora Parcial	Mejora Total
Innovación	1	3	5
Factibilidad	3	3	2
Beneficio	1	3	5
Puntuación	5	9	12

Fuente: Elaboración propia

1.4 **OBJETIVOS**

1.4.1 Objetivo General

Implementar la integración y mejora total del proceso de descarga de material triturado, en el sistema de control de la planta QL Agro para la extracción de concentrado de quillay.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Mejorar el sistema de control básico que existe por uno que utilice la tecnología disponible.
- ❖ Unificar el sistema de control.
- ❖ Agregar elementos de control que permitan el correcto funcionamiento del silo y un monitoreo constante de su estado.
- ❖ Disminuir los costos operacionales y de mantenimiento.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2. **DESARROLLO DEL PROYECTO**

Como se estipula en el capítulo anterior, la solución a desarrollar es la mejora total del sistema. Esto conlleva la compra de nuevos elementos, la implementación de modificaciones mecánicas menores al sistema actual, la creación y modificación de los tableros eléctricos y de control del sistema del silo y del sistema de control de la planta para lograr la integración y la creación de una nueva pantalla para la OS de la planta. Todo esto se debe lograr mediante una correcta planificación e implementación, desarrollada por una mezcla de empresas contratistas y los conocimientos del ingeniero de instrumentación a cargo del proyecto.

2.1 **FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO ACTUAL**

El sistema de almacenamiento y descarga de material triturado, cuenta con varias etapas. En esta sección se detallan estas, para lograr un mayor entendimiento de la mejora que se quiere realizar.

2.1.1 **Carga de material triturado**

Los troncos de quillay son cargados y depositados en la henadora o “chipeadora” mediante carga manual con un mini cargador frontal. Ya en la henadora, los troncos son triturados hasta una medida que no supera los 3 cm de largo y menos de 1 cm de espesor. Mediante un harnero y una correa transportadora, el material se eleva para ser depositado en la parte superior del silo.

2.1.2 **Silo de almacenamiento y descarga**

Esta correa desemboca en el interior del silo, mostrado en la figura 2-1 depositando el material en un solo punto del mismo. El sistema actual carece de un mecanismo de dispersión eficiente del material para asegurar el llenado uniforme del silo. Esto provoca una sobrecarga en los elementos mecánicos del silo, que son las cuchillas de desplazamiento, lo que en general sobrecarga el funcionamiento de la central hidráulica.

Una vez almacenado el producto y por necesidad del área de producción, se da partida al proceso de descarga de material a otra correa transportadora, que a su vez converge en un elevador de capachos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1. Interior del silo de almacenamiento

2.1.3 Elevación y extracción

El elevador de capachos lleva el producto triturado en pequeñas cantidades, para no sobrecargarse, a la correa transportadora de los extractores. Aquí mediante válvulas de cuchillas de accionamiento manual, se selecciona en que estanque de extracción se depositará el material.

2.2 SISTEMA DE CONTROL ACTUAL

El sistema de control actual de la planta consta de dos PLC intercomunicados mediante red PROFIBUS DP. Ambos PLC están encargados de controlar distintas etapas del proceso total. Todas las variables de procesos y señales de control del sistema están gestionadas por módulos de entrada y salida ET200, pertenecientes a la marca Siemens. No se tiene información detallada del porque se realiza esta implementación en el sistema y solo queda por concluir que se hace de esta forma, para utilizar los elementos que ya posee la fábrica y así reducir los costos de implementación del proyecto original.

2.2.1 Sistema de control silo

Por otro lado, la descarga del silo posee un funcionamiento completamente manual sin retroalimentación de variable alguna. En la figura 2-2, se puede apreciar que el tablero de mando del silo =PQL.EX+T1 solo consta de una botonera de partida y parada de la central hidráulica, un selector de modo manual y automático, cuatro pilotos de indicación de secuencia y una botonera de parada de emergencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Tablero de control silo

La secuencia de funcionamiento de cada cilindro está determinada por el estado de los dos interruptores de límite de carrera ubicados en cada uno de ellos. Estos interruptores, que se muestran en la figura 2-3, son un punto de falla del sistema ya que los cilindros no siempre son capaces de llegar al final de la carrera, lo que provoca la sobrecarga del sistema al no poder pasar a la siguiente etapa secuencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3. Interruptor de límite de carrera

La secuencia de funcionamiento corre de la siguiente forma:

- i. Primero se enciende la central hidráulica en modo semi-automático.
- ii. Se acciona el cilindro A y E, hasta que este toque el interruptor 2A.
- iii. Al accionarse 2A, se acciona el cilindro B y F, hasta que active 2B.
- iv. Al accionarse 2B sale el cilindro C y G hasta que toque 2C.
- v. Al accionarse 2C, sale el cilindro D y H hasta que toque 2D.
- vi. Cuando se activa 2D, todos los cilindros retroceden hasta activar el interruptor 1 de cada uno de ellos.
- vii. Cuando todos los interruptores de inicio están activados se reinicia la secuencia nuevamente.

El problema que presenta esta configuración de control electro hidráulico es que no se tiene un monitoreo de los tiempos de recorrido de cada cilindro ni de la presión ejercida por la central, ya que cada paso está condicionado por la correcta activación de cada límite de carrera ubicado al final de los cilindros. En la figura 2-4 se pueden apreciar 2 de los cilindros del lado derecho, más cercanos a la descarga del sistema. El sistema de cuchillas se compone de 4

estructuras móviles de acero que son desplazados por 8 cilindros, dos por cada lado de cada estructura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4 Disposición inferior de dos de los cilindros hidráulicos

2.3 **ELEMENTOS DEL NUEVO SISTEMA**

La implementación de la mejora implica adquirir nuevos elementos para ser instalados en el silo. Estos elementos son:

- Cilindros hidráulicos de 3000 [psi] con dimensiones similares o iguales a los ya instalados.
- Sensores inductivos para el monitoreo de los sensores
- Transmisor de presión absoluta para medir la presión que entrega la central.
- Transmisor de nivel ultrasónico para el llenado del silo.
- Sensor y transmisor de temperatura para monitorear la temperatura del aceite de la central hidráulica.
- Módulos ET200M de DIx32, DOx32 y AIx8

- Módulos de conexión Simatic TOP
- Modulo SIMOCODE pro V (UM+, BU, DO, DI y OPD)
- Tablero de acero inoxidable de 400x600[mm]
- Fuente de poder de 24[VDC]
- Regletas de conexión y fusibles

2.3.1 Cilindros hidráulicos

Este elemento mostrado en la figura 2-5, es la pieza central en el funcionamiento del sistema de descarga del silo, ya que está encargado de mover la estructura de las cuchillas para poder realizar el desplazamiento del material y que este caiga a la correa transportadora. Los cilindros que están instalados son de 3000[psi] de presión y son capaces de desplazar el material acumulado en el silo hasta un cierto nivel de peso aplicado en él. Según lo que indica la experiencia de la planta estos cilindros son capaces de mover el material hasta un 75% de la capacidad del silo, cualquier valor más allá de este nivel, el sistema ya no responde como corresponde produciéndose la indeseada carrera incompleta de los cilindros.

A estos cilindros se le debe agregar dos pletinas metálicas para la instalación de los sensores inductivos que detectan el estado de la carrera del mismo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5. Cilindro hidráulico de 3000 [psi]

2.3.2 Sensores P&F NB10-30GKK-W0

Estos sensores inductivos de la marca Pepperl & Fuchs son utilizados para la detección de la posición del cilindro hidráulico. Mediante una pletina de aluminio de 4 [mm] que va dispuesta de tal manera que cada sensor quede posicionado en la parte inicial de la salida del

vástago del cilindro y el final del mismo. Estos sensores primero pasan por el tablero “PQL.TCT.E801.1” donde están las regletas de conexiones que luego deriva al tablero “RACK-01”, donde estas señales digitales son integradas a los módulos de conexión Simatic TOP. En la imagen 2-6 se aprecia el sensor cotizado directamente desde la página del fabricante.



Fuente: <https://www.pepperl-fuchs.com/>

Figura 2-6. Sensor inductivo P&F NBB10-30GKK-W0

2.3.3 Transmisor E+H Cerabar S PMP71

El transmisor de presión a utilizar pertenece a la marca Endress Hauser de modelo Cerabar S PMP 71, como el mostrado en la figura 2-7. Esta línea de transmisores absolutos es utilizada en una amplia gama de aplicaciones como lo es la medición de nivel en estanques abiertos, medición de presión en líneas y reactores, etc.

El transmisor a utilizar tiene un rango de presión desde los 0 a los 400 [bar]. Este rango es seleccionado ya que la central hidráulica levanta presión hasta los 200 [bar] y el sensor que viene antes solo soporta presiones hasta los 60 [bar]. La conexión al proceso de este transmisor es mediante hilo BSP de ½” y debe ser posicionado donde actualmente solo existe un manómetro de indicación. En esta parte de la central se instala una T de derivación de acero inoxidable de hilos ¼” BSP macho y dos hembras de ½” BSP para el manómetro de referencia y el transmisor de presión. La señal de salida del transmisor es un lazo de corriente activo de 4 a 20 [mA] y está cableado directamente a un canal análogo de los módulos Simatic Top del tablero “RACK-01”



Fuente: <https://www.cl.endress.com/>

Figura 2-7. Transmisor de presión absoluta Cerabar S

2.3.4 Transmisor de nivel de radar FMR67 con indicador de campo RIA16

Este transmisor de la marca Endress & Hauser cumple la función de entregar el nivel actual del producto almacenado al interior del silo desde un determinado punto de referencia. Este nivel es el que se conecta con el sistema de control de la planta para evitar la sobrecarga del silo mediante la detención de la henadora YM803 y las correas transportadoras y de esta forma no sobre esforzar el sistema de descarga del material además de mostrar la referencia de nivel en terreno y en la sala de control, en la figura 2-8, se aprecia a la izquierda el transmisor de radar FMR67 para medición de sólidos en silos y almacenajes y a la derecha se muestra el indicador de campo RIA16 que funciona acoplándose al lazo de control de 4 a 20 [mA] y así entrega un indicación referencial del porcentaje de nivel del silo.

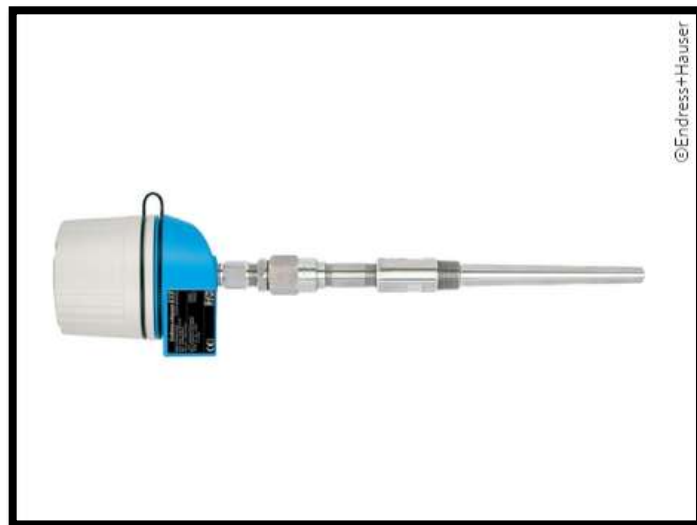


Fuente: <https://www.cl.endress.com/>

Figura 2-8. Transmisor FMR67 e indicador de campo RIA16

2.3.5 Sensor y transmisor de temperatura Omnigrad S TR66

Para saber la temperatura actual del aceite de la central hidráulica y el sistema, se instala un transmisor de temperatura mostrado en la figura 2-9, de la marca Endress Hauser, modelo Omnigrad S TR66, el que viene integrado con un cabezal transmisor para enviar una señal de 4-20 [mA] que es enviada al RACK-01, mediante el tablero “-TCT.E801.1”. Este transmisor de temperatura tiene una conexión al proceso mediante hilo de 3/4” NPT y debe ser instalado en el reservorio de aceite de la central en una de las conexiones disponibles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9. Sensor y transmisor de temperatura Omnigrad S TR66.

2.3.6 Módulos ET200M

Los ET200M son los módulos de periferia descentralizada de Siemens pertenecientes a la serie S7-300. Estos ofrecen una conexión rápida y segura a los instrumentos de campo integrando el protocolo Profibus DP al sistema de control de la planta. El módulo ET200M, mostrado en la imagen 2-9, que se utiliza en el proyecto está instalado en el tablero “RACK-01” y posee espacio para realizar la ampliación de señales que corresponde al proyecto, en este caso, 1 módulo de entradas digitales de 32 canales, 1 módulo de 32 salidas digitales y un módulo de 8 entradas análogas. A continuación del ultimo módulo existente se instalan las tres tarjetas adicionales para la implementación de señales. Los códigos de estas tarjetas son 6ES7 321-1BL00-0AA0, 6ES7 322-1BL00-0AA0 y 6ES7 331-7KF0*-0AB0 y corresponden al módulo de 32 entradas digitales, 32 salidas digitales y 8 entradas análogas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10. Módulo ET200M del RACK-01

2.3.7 Módulos de conexión Simatic Top

SIMATIC TOP ofrece un cableado eficiente para los módulos de entrada del SIMATIC S7-300/400 y ET 200M, la conexión totalmente modular para un acoplamiento rápido y claro a

los actuadores de campo y sensores, así como la conexión flexible para el cableado sencillo en el armario de distribución

El principio del sistema modular consiste en los módulos del conector frontal, los cables de conexión y los módulos de conexión. Por ahí la conexión totalmente modular reduce el trabajo de cableado y evita las fuentes de errores que puedan surgir de la polaridad inversa en el conector frontal, y en la regleta de bornes en los cableados individuales. Además, los módulos de conexión con adaptación de señal eliminan los costes adicionales, puesto que se omite totalmente el cableado de más componentes, por ejemplo, para relés de acoplamiento individuales. El diagrama de conexión, uniforme y claro, reduce los tiempos de pruebas y, en caso de error, facilita la resolución de problemas. Con el empleo de componentes estándares, la configuración también resulta más rápida y fácil. Los costes de material, ligeramente más elevados, quedan más que compensados por los ahorros de tiempo.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema modular de conexión son:

- ❖ Cableado rápido y rentable
- ❖ Reducción de errores de cableado
- ❖ Cableado claro de armario de control
- ❖ Posible control de cargas de hasta 4 [A] y hasta 500 [Hz]
- ❖ En caso de defectos, sustitución rápida de módulos

El tablero de conexión de señales de la parte de madera y extracción “RACK-01” está implementado con este sistema modular de conexionado como se muestra en la figura 2-10 y para la ampliación de señales se utiliza 1 módulo analógico para los sensores, 1 módulo de entrada digital de 32 canales de código 6ES7 924 - 2AA20 - 0BC0 y 1 módulo de salida digital de 32 canales opto aislados para una corriente máxima de 2 [A].



Fuente: Elaboración propia

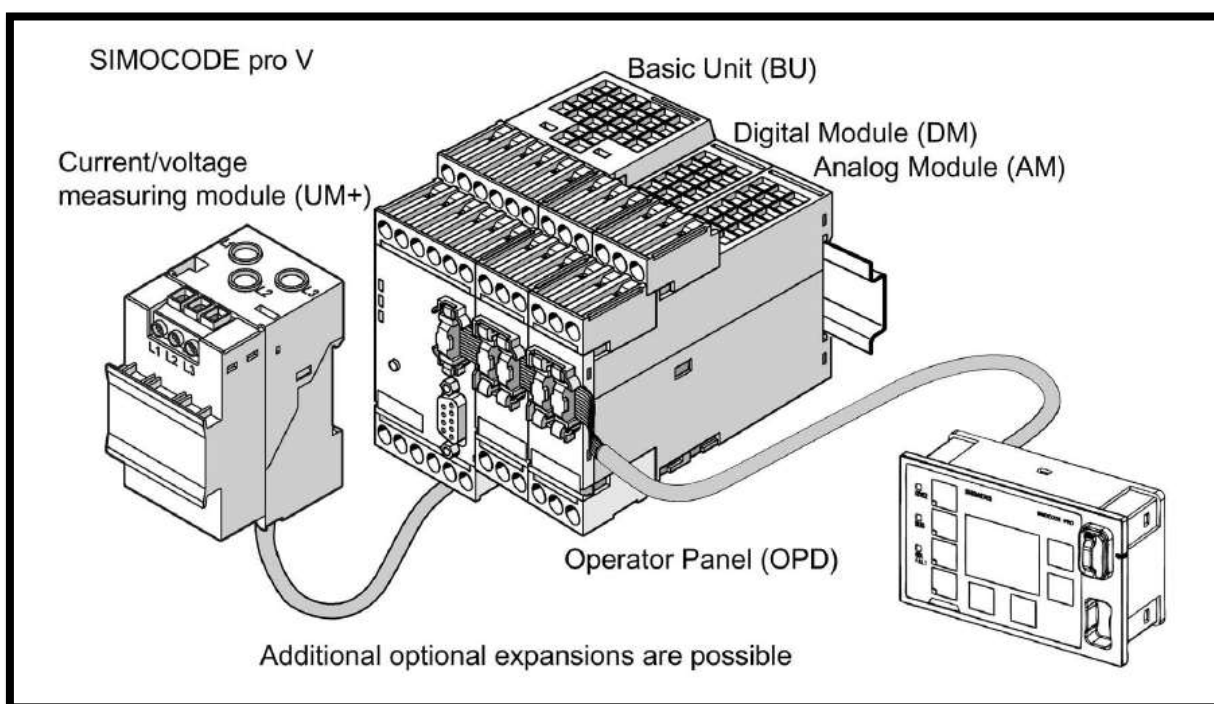
Figura 2-11. Módulos Simatic Top para ET200M

2.3.8 Simocode PRO V y Schneider contactor, guardamotor y relé de sobrecarga

La partida del motor actual de la central hidráulica es comandada por un sistema estrella triángulo de comando local. En la mejora total del sistema, la partida debe ser comandado por el operador desde la OS de la sala de control. Para eso se utiliza un módulo SIMOCODE pro V en configuración “partidor estrella triángulo”. SIMOCODE pro es un sistema de gestión de motores modular y flexible para motores de velocidad constante de la gama de baja tensión. Este sistema optimiza la conexión entre control de procesos y la derivación a motor, eleva la disponibilidad de la instalación y permite reducir notablemente los costos durante el montaje, la puesta en marcha, servicio y el mantenimiento de una instalación.

La energización del motor para la partida estrella triángulo se hace con 3 contactores Q1, Q2 y Q3. Estos son energizados con 24VDC utilizando los contactos de salida de SIMOCODE pro V mediante el comando de partida desde el PLC. El código de estos es LC1D38BD y pertenecen a la línea TeSys de Schneider Electric para motores de hasta 75 [kW] de potencia del tipo AC3. Antes del contactor Q1 debe instalarse un guardamotor regulado a 25 [A] y después del contactor Q1 debe instalarse un relé de sobrecarga también regulado a 24[A].

El código del guardamotor de la marca Schneider Electric es GV3P32 y el relé de sobrecarga de la misma marca tiene el código LR3D226 y es de clase 10.



Fuente: Extracto de manual SIMOCODE ES

Figura 2-12. Configuración de hardware típica SIMOCODE proV

Como se aprecia en la figura 2-13, el hardware del sistema SIMOCODE pro V consiste del módulo de medición de corriente/voltaje (UM+ como lo designa el fabricante), el módulo de Unidad Base (BU), el módulo digital (DM), el módulo analógico (AM) y el panel de operador que va en el cubículo de baja tensión o tablero eléctrico donde está instalado el equipo.

2.3.9 Tablero, cables y elementos menores

No todos los componentes de este proyecto son del tipo tecnológico o de importación requerida. Los elementos menores que se requieren para la implementación de la solución pueden ser conseguidos en el territorio nacional y en este apartado se describen en breves palabras.

2.3.9.1 RITTAL AE1008.600

Se dispone de un tablero de acero inoxidable de 380x600x210 [mm], para funcionar como tablero de paso para las señales que provienen de los sensores inductivos bajo el silo, que lleva el nombre PQL:TCT.E801.1 y desde el tablero y la caseta de la central hidráulica PQL:EX.T1.

2.3.9.2 Bornes de paso

También se consideran 200 bornes de paso de libre mantención para secciones de hasta 4 [mm²] para el tablero de paso PQL.TCT.E801.1. En estos bornes se conectan las señales de control del proyecto de mejora.

2.3.9.3 Riel DIN

Se utilizan 3 tiras de riel DIN de 7,5x35x2000 [mm] para la sujeción de los bornes de paso, la fuente de poder de 24[VDC], el módulo SIMOCODE pro V y los contactores Schneider.

2.3.9.4 PSU Phoenix Contact UNO 24VDC/240W

Esta fuente de poder es utilizada para alimentar los lazos de control pertenecientes a los sensores inductivos.

2.3.9.5 Cables de control

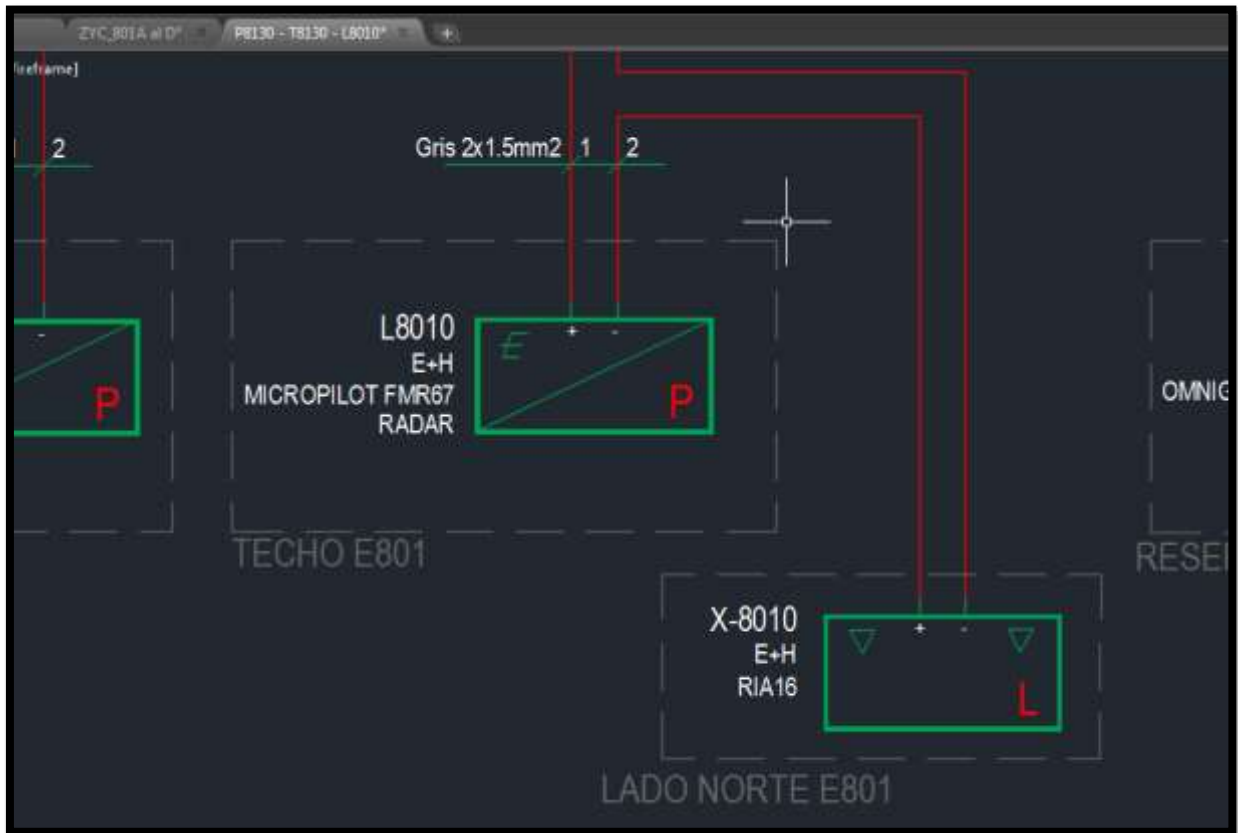
Estos son utilizados para llevar las señales utilizadas en este proyecto de mejora hasta el tablero RACK-01 donde están ubicados los módulos ET200 que reciben la información. Se considera el traslado de las señales de los sensores inductivos hasta el tablero TCT.E801, en este tramo se utiliza el cordón tetrapolar JZ-500 4x1.0[mm] desde los sensores hasta el tablero TCT.E801 y desde este hasta el RACK-01 se utiliza el cordón multiflex JZ-500 25x1.0[mm] o un equivalente. También se utiliza este mismo cordón para llevar la señal desde el transmisor de nivel hasta el tablero. Se considera cable de control a instalar en el tablero de la central hidráulica. Esto para la instalación del nuevo módulo SIMOCODE proV, el nuevo guardamotor, el nuevo rele de protección y los nuevos contactores de estrella triángulo.

2.4 SOFTWARE PARA EL DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se utilizan los conocimientos adquiridos en la carrera y durante la vida laboral. Estos conocimientos incluyen la manipulación de programas para el modelamiento de las piezas necesarias, creación y modificación de planos, modificación de los programas de control de los PLC de la planta. A continuación, se describen los programas a utilizar en el desarrollo del proyecto.

2.4.1 AutoCAD Electrical 2017

AutoCAD es una aplicación de software de dibujo y diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado y comercializado por Autodesk. La versión Electrical de AutoCAD es una integración de la marca enfocada a cubrir y facilitar el desarrollo del modelamiento en los ámbitos de la electricidad, electrónica, control, instrumentación y áreas similares, al incluir herramientas diseñadas para este uso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-13. Extracto del plano L8010 en AutoCAD Electrical 2017

En la figura 2-11, se muestra la interfaz del software, mostrando a modo de ejemplo como se presenta el plano del transmisor de nivel.

Este software es licenciado y su costo de suscripción anual es de US\$1,575.0 aunque también se encuentra disponible una versión para estudiantes con una duración de 3 años. La versión que se utiliza para la creación y modificación de planos eléctricos y de control en este proyecto es la 2017, que corresponde a la versión 14.0.57.0 del software y se utiliza la licencia de estudiante.

2.4.2 AutoCAD Plant 3D 2017

AutoCAD Plant 3D es la herramienta de software de la suite Autocad que se enfoca en la construcción de planos de planta y equipos. Se utiliza para visualización 3D de componentes, partes o plantas enteras. En este trabajo se utiliza para la creación del plano de tuberías e instrumentos (P&ID) que se muestran mas adelante y mostrar la distribución de los tableros eléctricos y de control que se intervienen además de presentar en la ubicación en terreno de estos tableros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-14. Extracto del plano estructural de E801 con cilindros y tablero nuevo

En la figura 2-12 se aprecia la ubicación de 3 de los cilindros y la ubicación del nuevo tablero PQL.TCT.E801.1.

2.4.3 TIA Portal V15

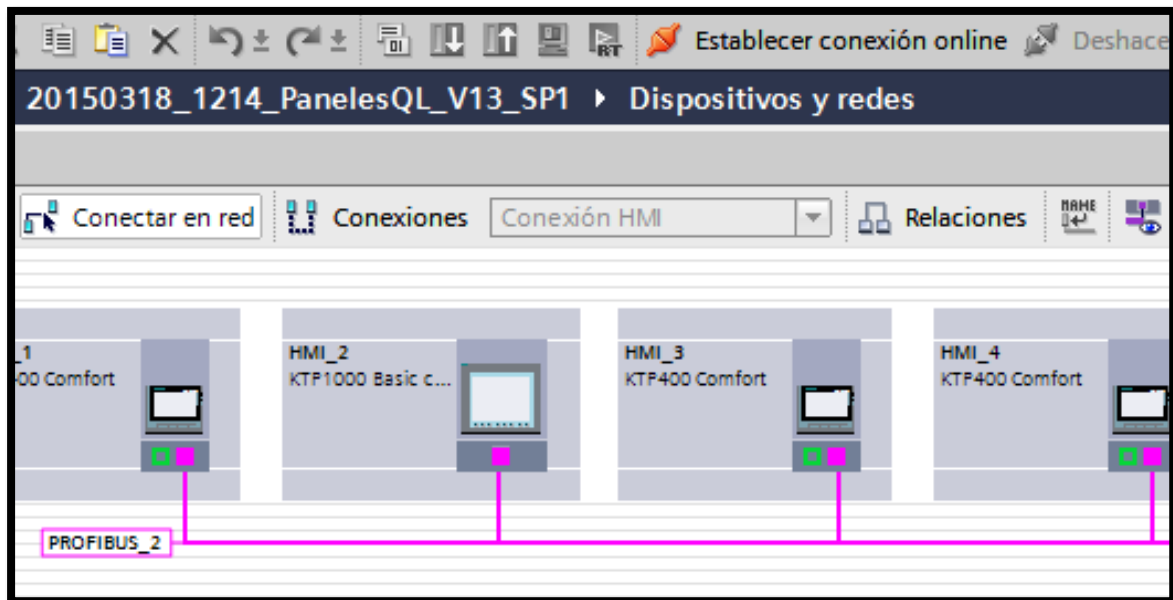
La interfaz Totally Integrated Automation o por como se suele llamar por sus iniciales, TIA Portal, es el sistema de ingeniería de automatización de la compañía Siemens que permite configurar en forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación, producción y programación de los elementos de esta marca, ya que posee una funcionalidad probada y ofrece un entorno de ingeniería unificado para estas labores.

TIA Portal incorpora las últimas versiones de software de ingeniería de Siemens que antes se encontraba fragmentado, como lo son los programas Simatic STEP 7, WinCC y Startdrive.

Este software se utiliza para integrar las pantallas de la marca Siemens, mostradas en la figura 2-12 y así poder realizar el intercambio de señales entre estas pantallas y el AC800F.

Para esto se utiliza el PLC S7-1200, este PLC queda como un esclavo de la red profibus y desde allí el AC800 F es capaz de sacar las variables de los HMI para poder procesarlas.

Además, se utiliza para programar y configurar en la red profibus el módulo SIMOCODE pro V, que está ubicado en el nodo 4 dirección 4 de ese segmento de red.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-15. Vista de redes del proyecto AGRO TIA Portal V13

2.4.4 Freelance 2013

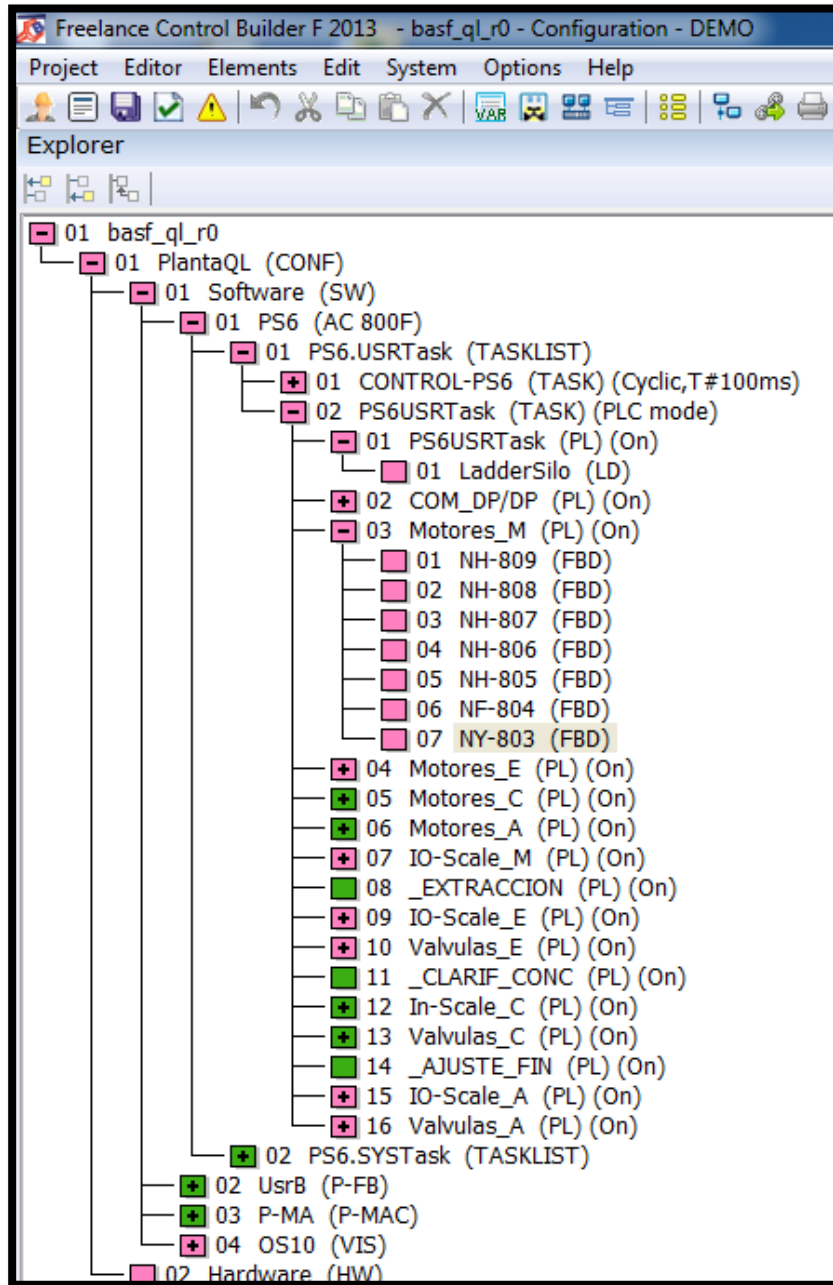
Freelance es el software de ingeniería de procesos de la marca ABB dedicado a sus sistemas de DCS y PLC. Sus características principales son que es de fácil utilización, los proyectos son fácilmente escalables pudiendo ir desde 25 E/S hasta 25000 E/S, es un sistema probado de alta confiabilidad y disponibilidad que proporciona funciones de redundancia y proporciona un gran ahorro en los costos con sus características de fácil utilización, instalación, desarrollo de ingeniería, condicionamiento y costos por ciclo de vida.

Este software se debe manejar ya que el sistema de control de la planta AGRO lo utiliza en la sala de control.

Esta suite de ABB consta en varios programas separados que dan forma a Freelance 2013. Estos programas son DigiVis y Control Builder F.

Los cambios que se realizan en el proyecto de este PLC son la integración de las señales creadas en los módulos ET200M y la declaración de los nuevos módulos de entrada y salida, una nueva pantalla de visualización de los cilindros y la inclusión de las señales digitales de los

cilindros en una tabla junto al silo E801. En la figura 2-13 se puede observar una parte del árbol del proyecto de la planta Agro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-16. Vista del árbol de proyecto con bloque FBD, Freelance 2013

2.5 DESARROLLO DE LA MEJORA

En esta parte del capítulo se describen las acciones centrales para el correcto desarrollo del proyecto.

Estas acciones se centran en la formulación y desarrollo de las modificaciones a los programas de control de los PLC AC800F y S7-1211C de la planta donde se integran las señales asociadas y la creación de las pantallas para los HMI que correspondan.

2.5.1 Creación de tabla de variables

La tabla 2-1 muestra el listado de variables para poder identificar de una mejor forma los elementos que se deben considerar para la programación del proyecto.

Tabla 2-1. Tabla de variables y señales

Variable	Descripción	Ubicación	Tipo
L8010_var	Señal 4-20 del transmisor de nivel del silo	R1S8:ch0	UINT
L8010_out	Señal de nivel en porcentaje	PS6	REAL
L8010_HH	Alarma Alto Alto nivel L8010	PS6	BOOL
L8010_LL	Alarma Bajo Bajo nivel L8010	PS6	BOOL
T8130_var	Señal 4-20 del transmisor de temperatura de central	R1S8:ch2	UINT
T8130_out	Señal de temperatura en porcentaje	PS6	REAL
T8130_HH	Alarma Alto Alto temperatura T8130	PS6	BOOL
T8130_LL	Alarma Bajo Bajo temperatura T8130	PS6	BOOL
P8130_var	Señal 4-20 del transmisor de presión de central	R1S8:ch1	AI
P8130_out	Señal de presión en porcentaje	PS6	REAL
P8130_HH	Alarma Alto Alto presión P8130	PS6	BOOL
P8130_LL	Alarma Bajo Bajo presión P8130	PS6	BOOL
ZSO_801A	Sensor inductivo posición abierto ZZ801A	R1S6:ch0	BOOL
ZSC_801A	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801A	R1S6:ch1	BOOL
ZSO_801B	Sensor inductivo posición abierto ZZ801B	R1S6:ch2	BOOL
ZSC_801B	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801B	R1S6:ch3	BOOL
ZSO_801C	Sensor inductivo posición abierto ZZ801C	R1S6:ch4	BOOL
ZSC_801C	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801C	R1S6:ch5	BOOL
ZSO_801D	Sensor inductivo posición abierto ZZ801D	R1S6:ch6	BOOL
ZSC_801D	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801D	R1S6:ch7	BOOL
ZSO_801E	Sensor inductivo posición abierto ZZ801E	R1S6:ch8	BOOL
ZSC_801E	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801E	R1S6:ch9	BOOL
ZSO_801F	Sensor inductivo posición abierto ZZ801F	R1S6:ch10	BOOL
ZSC_801F	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801F	R1S6:ch11	BOOL

ZSO_801G	Sensor inductivo posición abierto ZZ801G	R1S6:ch12	BOOL
ZSC_801G	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801G	R1S6:ch13	BOOL
ZSO_801H	Sensor inductivo posición abierto ZZ801H	R1S6:ch14	BOOL
ZSC_801H	Sensor inductivo posición cerrado ZZ801H	R1S6:ch15	BOOL
ZYO_801A	Solenoides de activación apertura ZZ801A y E	R1S7:ch0	BOOL
ZYC_801A	Solenoides de activación cierre ZZ801A y E	R1S7:ch1	BOOL
ZYO_801B	Solenoides de activación apertura ZZ801B y F	R1S7:ch2	BOOL
ZYC_801B	Solenoides de activación cierre ZZ801B y F	R1S7:ch3	BOOL
ZYO_801C	Solenoides de activación apertura ZZ801C y G	R1S7:ch4	BOOL
ZYC_801C	Solenoides de activación cierre ZZ801C y G	R1S7:ch5	BOOL
ZYO_801D	Solenoides de activación apertura ZZ801D y H	R1S7:ch6	BOOL
ZYC_801D	Solenoides de activación cierre ZZ801D y H	R1S7:ch7	BOOL
NP813_ON	Comando de partida a módulo PM813	R1S7:ch24	BOOL
NP813_OFF	Comando de detención a módulo PM813	R1S7:ch25	BOOL
NP813_STT	Señal de partida en programa	PS6	BOOL
NP813_STP	Señal de detención en programa	PS6	BOOL
NP813_FLT_DP	Señal de falla desde Simocode PRO V	NP813_DP	DP
NP813_FBK	Señal de retorno (feedback) desde Simocode PRO V	NP813_DP	DP
ZLO_801A	Señal piloto inductivo ZZ801A abierto	R1S7:ch8	BOOL
ZLC_801A	Señal piloto inductivo ZZ801A cerrado	R1S7:ch9	BOOL
ZLO_801B	Señal piloto inductivo ZZ801B abierto	R1S7:ch10	BOOL
ZLC_801B	Señal piloto inductivo ZZ801B cerrado	R1S7:ch11	BOOL
ZLO_801C	Señal piloto inductivo ZZ801C abierto	R1S7:ch12	BOOL
ZLC_801C	Señal piloto inductivo ZZ801C cerrado	R1S7:ch13	BOOL
ZLO_801D	Señal piloto inductivo ZZ801D abierto	R1S7:ch14	BOOL
ZLC_801D	Señal piloto inductivo ZZ801D cerrado	R1S7:ch15	BOOL
ZLO_801E	Señal piloto inductivo ZZ801E abierto	R1S7:ch16	BOOL
ZLC_801E	Señal piloto inductivo ZZ801E cerrado	R1S7:ch17	BOOL
ZLO_801F	Señal piloto inductivo ZZ801F abierto	R1S7:ch18	BOOL
ZLC_801F	Señal piloto inductivo ZZ801F cerrado	R1S7:ch19	BOOL
ZLO_801G	Señal piloto inductivo ZZ801G abierto	R1S7:ch20	BOOL
ZLC_801G	Señal piloto inductivo ZZ801G cerrado	R1S7:ch21	BOOL
ZLO_801H	Señal piloto inductivo ZZ801H abierto	R1S7:ch21	BOOL
ZLC_801H	Señal piloto inductivo ZZ801H cerrado	R1S7:ch23	BOOL
DELTA_NP813	Señal activación contactor Q1 Simocode PRO V	R1S7:ch26	BOOL

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 Generación del programa de control del silo

Como se ha mencionado, el sistema de control de la planta Agro está compuesto por dos PLC, el S7-1211C de la marca Siemens y el AC800F de la marca ABB. El sistema está compuesto de esta forma ya que las pantallas HMI adquiridas en un inicio del proyecto, pertenecientes a la marca Siemens no se pueden integrar a Freelance 2013 directamente.

Existen dos formas para integrar estas dos marcas; la primera considera instalar un servidor OPC para poder interactuar con ambas marcas en una sola plataforma, la segunda contempla la adquisición del segundo PLC para almacenar las variables de las pantallas. Por el nivel de dificultad y costo se escoge la segunda que es lo que está instalado en este momento en la planta.

La secuencia de funcionamiento primero se considera para ser programada en el S7-1211C, pero la disposición del sistema de control dificulta la integración de las variables a ser creadas ya que los módulos ET200M están declarados e integrados en el AC800F. En un comienzo se considera realizar la programación en lenguaje Ladder, pero se evalúa nuevamente a lo largo de la creación del proyecto y se estima que es más efectiva la programación en diagrama de bloques de función o FBD (Function Block Diagram).

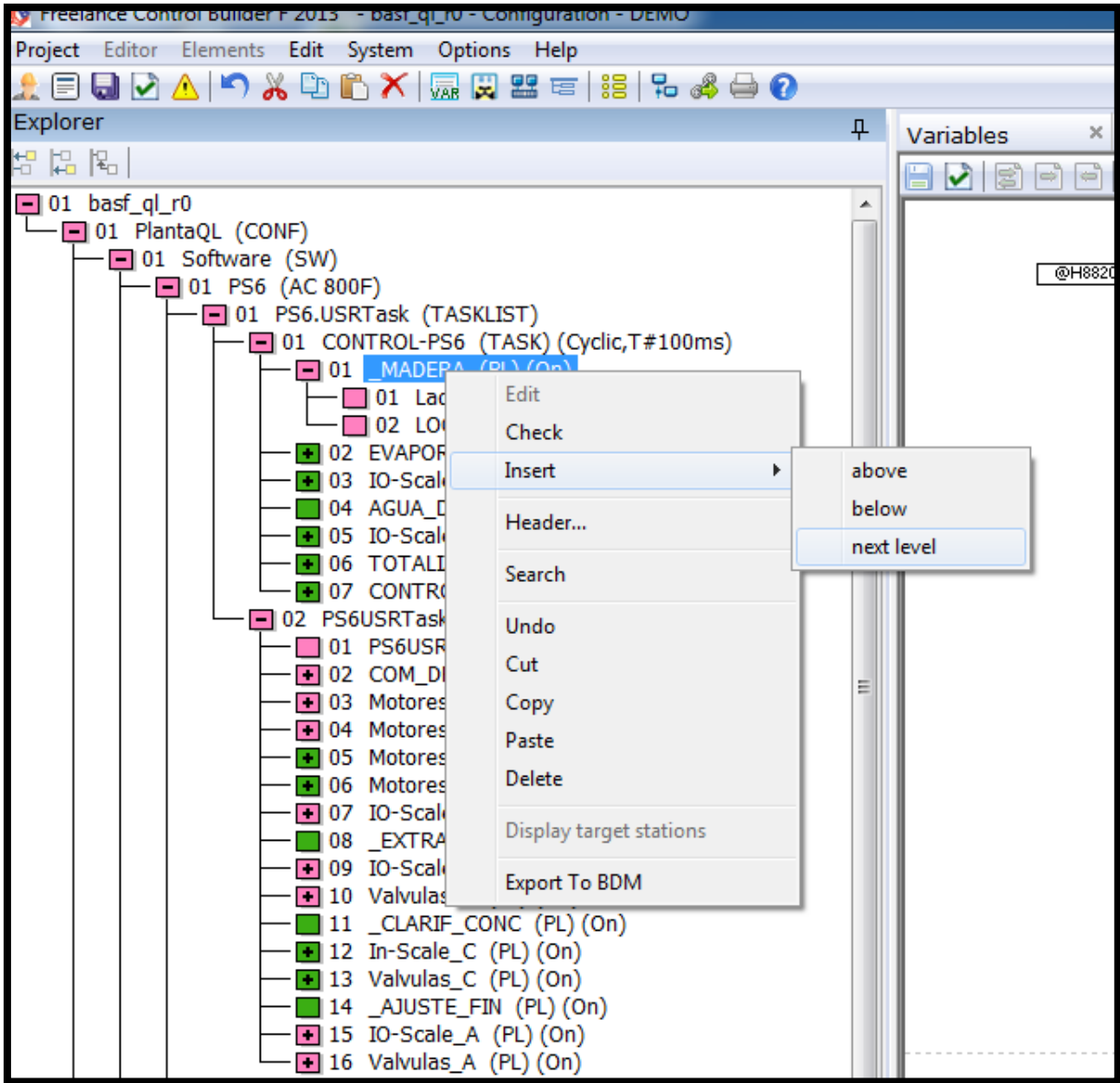
2.5.2.1 Creación de página de programación FBD

Los pasos para la creación de una página de programación en FBD se describen a continuación y se incluye la figura 2-14 para entregar una muestra gráfica del árbol de proyecto y la página donde se incluye la programación FBD.

Primero se debe acceder al proyecto principal desde el árbol del proyecto ubicado a la izquierda de la pantalla principal de Freelance 2013. Luego, en la configuración del proyecto, se escoge la rama de software y dentro de ella se escoge la rama de la estación que se desea configurar y programar. En este caso la estación de proceso o PLC es llamada PS6 y en el árbol del proyecto aparece el modelo de dicho equipo; un AC800F.

Al abrir el menú de la estación de trabajo, aparecen dos módulos con las tareas o TASKS que desarrolla el PLC. Una para la programación per se del PLC y otra con rutinas de inicio, partida tibia, correr, detenerse y error que solo se ejecutan una vez durante el funcionamiento.

Al ingresar en el módulo de control de programa, se llega hasta la tarea CONTROL-PS6, dentro de esta está MADERA y ahí se crea la página de programación FBD.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17. Menú del proyecto e inserción de FBD

2.5.2.2 Descripción del programa FBD y secuencia de funcionamiento.

Los programas en lenguaje FBD consisten en la lectura y escritura de variables y bloques de función que realizan las acciones que llevan a cabo el funcionamiento del programa. Generalmente se basa en flip flops, detectores de canto, temporizadores, variables marca, variables reales, contadores, etc.

El programa a realizar para este proyecto consiste en realizar una secuencia ordenada para el funcionamiento de los cilindros hidráulicos que considere el tiempo que toma la apertura y cierre completo de cada uno, la presión hidrostática de la central en todo momento, el nivel de llenado del silo E801 y la temperatura de funcionamiento del aceite de la central hidráulica PM813. Como se describe en la figura 2-18, primero se habilita el funcionamiento de la central

temperatura, por lo que si en un determinado momento alguna de estas variables se sale de rango, detendrá la secuencia de funcionamiento de los cilindros y los revertirá a su posición inicial, todos cerrados.

Esta secuencia se ejecuta 3 veces más con el resto de cilindros hasta que llegue a la activación de los cilindros ZZ801D y ZZ801H. En este instante, se activa el proceso de cerrado de los cilindros, ya sea por, tiempo de activación del paso 4 o por que se reconoce la apertura total de los cilindros mediante los inductivos ZSO_801D y ZSO_801H.

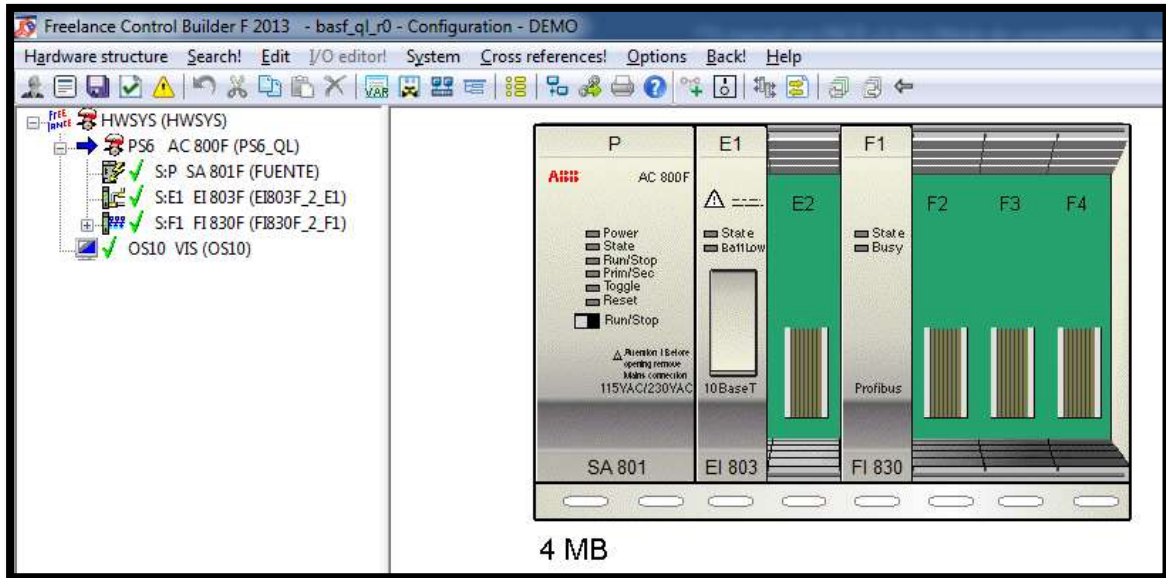
Cuando se inicia la secuencia de cierre de cilindros se activan todos los solenoides de cierre de cilindros, estos son ZYC_801A, ZYC_801B, ZYC_801C y ZYC_801D. Estos solenoides se mantendrán activos hasta que la variable @CIL_CIERRE, que indica que todos los cilindros ya están cerrados, sea 1 o hasta que transcurra el tiempo máximo de monitoreo para el cierre de cilindros que esta dado por la variable @TON_CIL_C. Cuando se active cualquiera de estas dos variables, se pone en 1 @REINI_SEC que da partida automática a la secuencia de funcionamiento de los cilindros y con ello, la descarga de material del silo E801.

Cuando se quiere detener la secuencia de movimiento de los cilindros se presiona el boton E801_OFF, este pone a 1 la variable @FIN_SEC_CIL y de esta manera asegura que los cilindros vayan a su posición cerrada antes de detener la central hidráulica. Esto se realiza con el fin de asegurar una posición inicial al inicio de proceso de descarga de material.

2.5.4 Creación de módulos y variables

La declaración de los nuevos módulos de entradas y salidas de los ET200M se realiza desde Freelance 2013 ya que estos quedan como equipos esclavos al master que es el AC800F. En la imagen 2-19 se aprecia la estructura de hardware del proyecto y se ve que el sistema está compuesto por los módulos de Fuente de Poder, Ethernet y Profibus. Las entradas y salidas del sistema están compuestas por los módulos ET200M y el PLC S7-1211C, que se comunican con el AC800F mediante una de las dos redes Profibus que contempla la planta.

Los módulos ET200M que procesan las señales de entrada y salida de la planta completa, se encuentran divididos en tres tableros que están instalados en distintas partes de la misma. El tablero que se modifica es el tablero RACK-01 ubicado en la parte externa de la planta bajo los estanques de extracción del concentrado de producto del material triturado.



Fuente: Elaboración propia

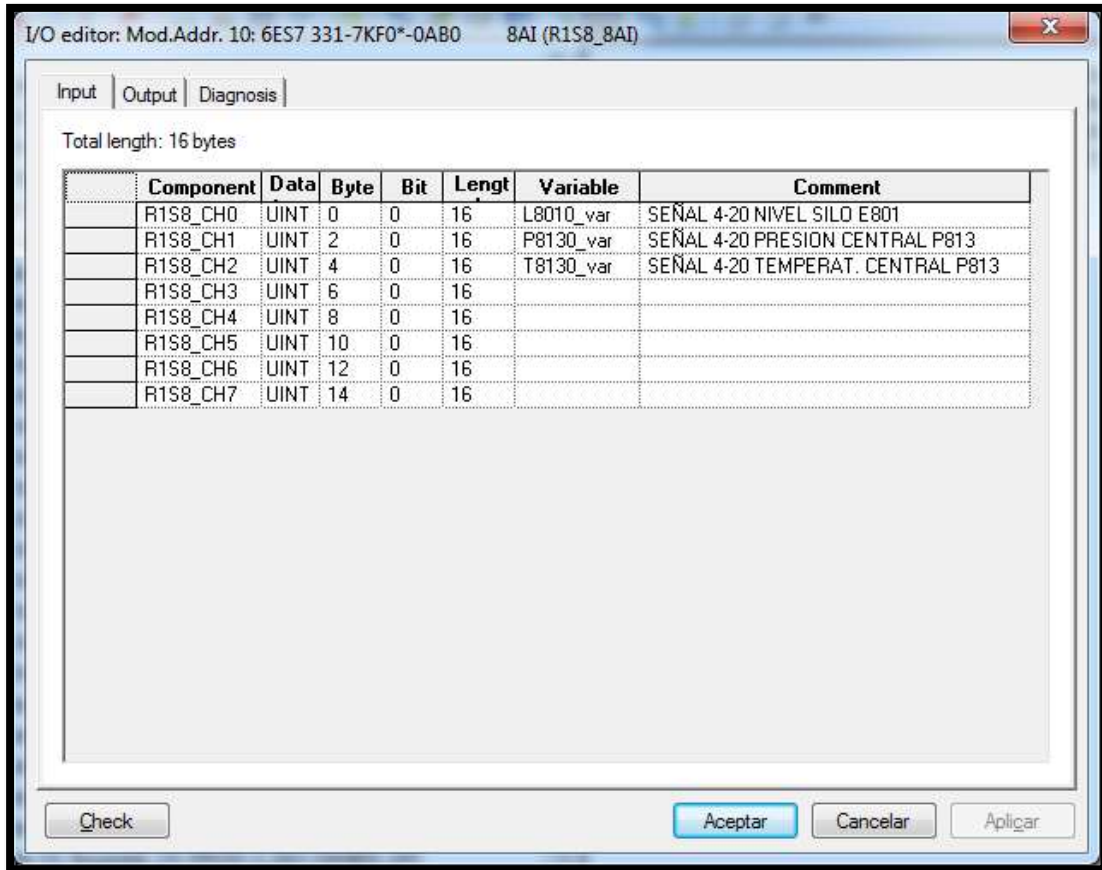
Figura 2-19. Vista de la estructura de hardware del AC800F

2.5.3.1 Inserción de variables análogas

Primero se agregan tres señales análogas al último módulo de entradas analógicas de este tablero. Como se ve en la figura 2-20, los canales 0, 1 y 2 del módulo se utilizan para la inserción de las nuevas señales que permiten el monitoreo de presión y temperatura del aceite de la central y nivel de material descargado del silo. Además en la imagen se puede apreciar que estas variables están configuradas como UINT, que hace referencia a que es una variable de tipo “unsigned integer” de un tamaño de 32 bit.

Para tener la opción de agregar estas tres variables al programa, se debe acceder a la vista de hardware del proyecto, una vez ahí se selecciona la estación ET200M a agregar y modificar. Esto se logra teniendo un entendimiento del programa, la planta y los planos disponibles.

Los nombres de las variables que entran al sistema desde los módulos de entrada analógica del ET200M son llamadas @P8130_var, @T8130_var y @L8010_var respectivamente para presión, temperatura y nivel. Estas variables están asociadas a las señales de corriente que entren en esos canales de los ET200M, en donde son interpretadas como cuentas y estas son las que luego se escalan, linealizan y procesan para ser utilizadas por el programa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20. Creación de variables análogas

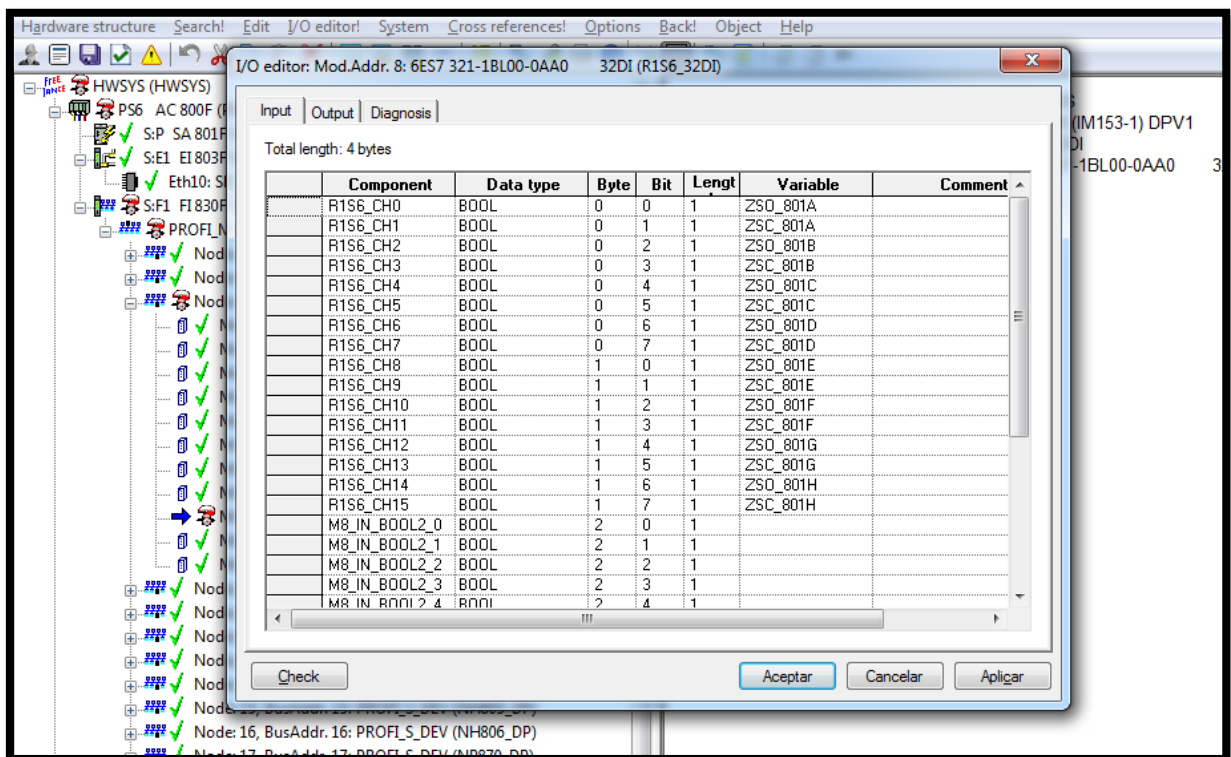
2.5.3.2 Inserción de entradas digitales

El slot 5 de los módulos del ET200M, presenta canales disponibles de entradas digitales, pero no las suficientes para la correcta implementación de la solución. Por lo que se debe instalar un módulo 6ES7 312-1BL00-0AA0 de 32 entradas digitales, como se ve en la figura 2-21, para dar a basto con los requerimientos del proyecto. Este módulo de entradas digitales es instalado en la posición 6 del ET200 del RACK.01 y se le designa el nombre de R1S6_32DI. No es necesario instalar un nuevo archivo GSD para la utilización de este módulo ya que viene integrado con Freelance 2013.

Este módulo está dedicado a la recepción de señales digitales provenientes de los sensores inductivos de la posición de los cilindro y el estado del contactor DELTA del tablero PM813.EX.T1.

2.5.3.3 Inserción de salidas digitales

La posición 7 es la designada para agregar el módulo de salidas digitales 6ES7 322-1BL00-0AA0 y se le da el nombre de R1S7_32DO. Este módulo es encargado de dar accionamiento a los solenoides de las electroválvulas de activación de cilindros en la central hidráulica, la activación de los pilotos en el tablero +PQL.TCT.E801.1 y las señales de activación de los contactores MAIN o Q1, STAR o Q2 y DELTA o Q3 para la partida estrella-triángulo del motor de la central.



Fuente: Elaboración propia

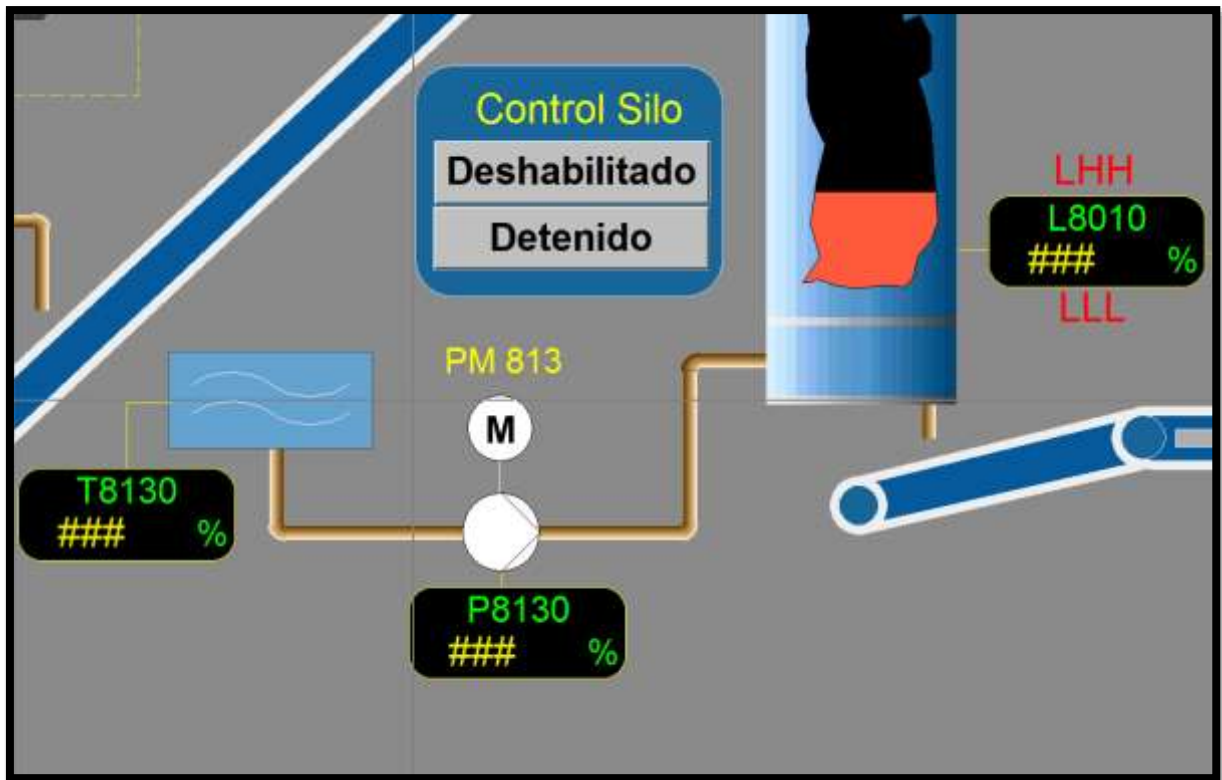
Figura 2-21. Módulo de 32 DI en Control Builder F

2.5.4 Creación de la pantalla

La pantalla se modifica para representar los elementos agregados dentro de este proyecto. Se agregan ventanas de visualización de nivel, temperatura y presión al dibujo de la central hidráulica y el silo.

Se agregan los botones de Habilitación y Funcionando que están ligados a los botones en Control Builder E801_HAB, E801_DESHAB, E801_ON y E801_OFF,

Además, se agrega un cuadro con estado de activación de los cilindros hidráulicos y sus respectivos sensores inductivos



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-22. Pantalla silo con indicación de funcionamiento y señales de nivel y presión.

2.6 SOLUCIÓN DE INGENIERÍA

En este apartado se describen las etapas del trabajo de título desde la identificación del problema pasando por la recopilación de información técnica y conocimientos propios de la planta donde se ha identificado el problema, el análisis y evaluación de las posibles soluciones y un diagrama de flujo que muestre esta información resumida.

2.6.1 Identificación del problema

Este trabajo pretende mejorar el rendimiento del sistema de descarga de material astillado desde el silo de almacenamiento hacia el proceso de extracción, lo que se debe lograr, es la automatización del sistema hidráulico que genera el movimiento de los cilindros que a su vez empujan la estructura que va moviendo secuencialmente el material astillado hacia la correa de descarga. El problema central de esta falta de automatización es el daño generado constantemente a los cilindros y la estructura, puesto que, debido al peso generado en la

estructura móvil, la central termina por dañar los sellos de los cilindros o en casos peores la deformación de los mismos y la fracturación de la estructura en los peores casos.

2.6.2 Recolección de información

El proceso de descarga de material astillado se genera mediante el movimiento de cilindros hidráulicos que funcionan de forma secuencial y semiautomática. Estos cilindros empujan las estructuras móviles que permiten la descarga.

La central hidráulica, que alimenta estos cilindros, se comanda desde un tablero en terreno fuera de la caseta de la misma central mediante botoneras de partida y parada. Al encenderse la central hidráulica, y mediante un control eléctrico, utilizando límites de carrera, se activan las electroválvulas que permiten el paso del aceite a cada par de cilindros.

Cuando la central y los cilindros no son capaces de generar el movimiento de cada estructura móvil, se produce sobrecarga de la central, desgaste y daño acelerado en los cilindros hidráulicos y fracturación de los soportes de los mismos. Esto debido a que la central no es capaz de determinar que los cilindros hidráulicos no llegan al final de su carrera y no hay forma de poder seguir con la secuencia para aliviar la carga sistemáticamente.

Además, no se cuenta con planos que detallen el conexionado real del tablero de control eléctrico de la central.

La presión que genera la central hidráulica tampoco es monitoreada y solo posee un manómetro de testigo al interior de la caseta que ya es de difícil acceso.

En las cercanías de la caseta de la central hidráulica existe un tablero de control del sistema de extracción y transferencia que hace viable la utilización del sistema de control actual para implementar una solución.

2.6.3 Búsqueda de soluciones

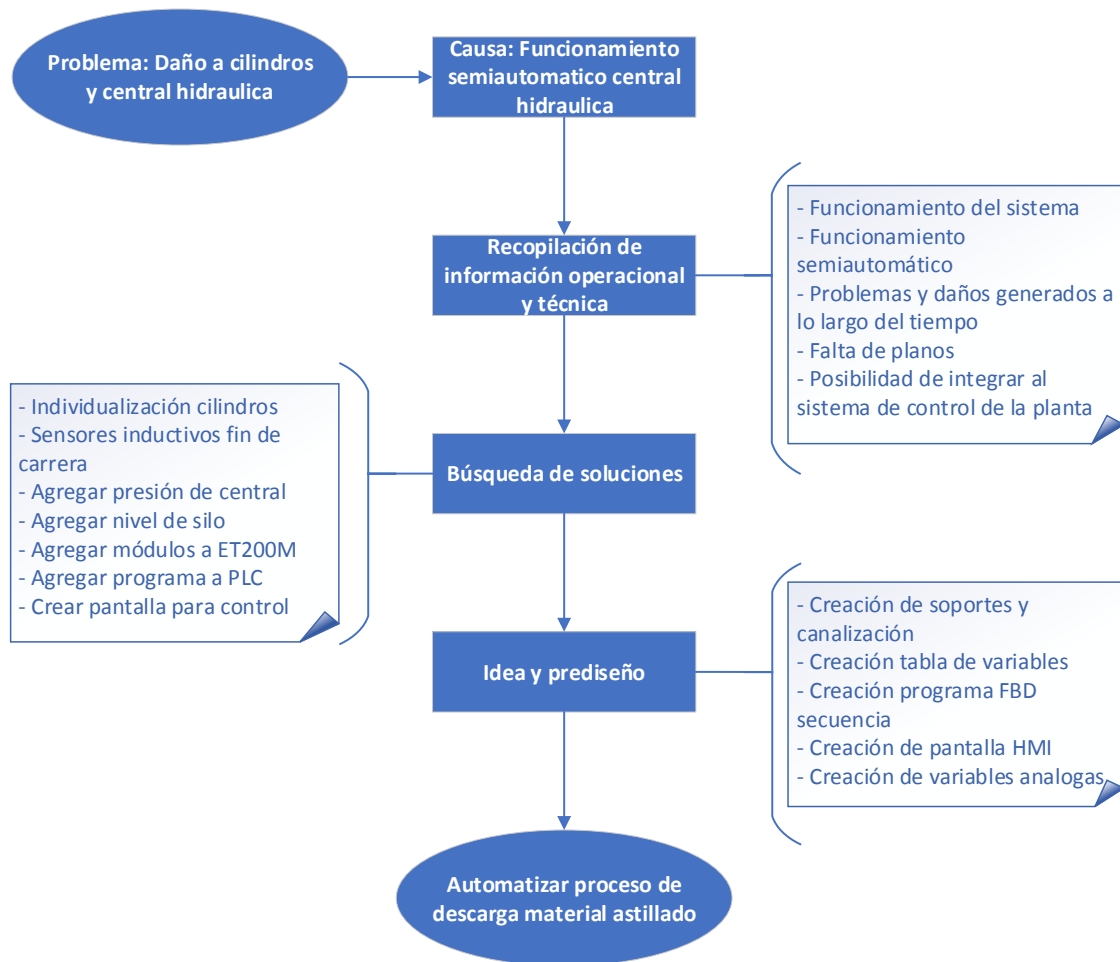
La solución a este problema es la automatización del sistema de descarga, individualizando el accionar de cada cilindro, utilizando sensores de final de carrera inductivos y un programa de funcionamiento integrado en el PLC de control que permita la continuación de la secuencia de descarga aun cuando cada cilindro no logre llegar al final de su carrera real. Además, se debe monitorear la presión de la central hidráulica para los casos en que aun cuando la continuación de la secuencia no permita aliviar la carga del silo, esta se detenga y se tomen otras medidas para descargar. Agregando un nivel de silo se pueden establecer límites de carga hacia el silo y limitar la velocidad de la correa que lo alimenta. Todo esto se debe lograr utilizando el sistema de control actual de la planta.

Esta solución se puede lograr de manera parcial o total, dependiendo de las decisiones que tome el personal pertinente.

2.6.4 Idea y prediseño

Esta idea de solución se logra plasmar en este trabajo de título en forma parcial, ya que no hay forma de lograrlo totalmente en la planta. Para esto se accede al sistema de control y los tableros de la planta. Se toma el proyecto del PLC AC800F de la planta AgroQL y en base a eso, se realizan las modificaciones mostradas en la sección 2.5.

En la figura 2-19 se puede observar el proceso de ingeniería simplificado con un diagrama de flujo.



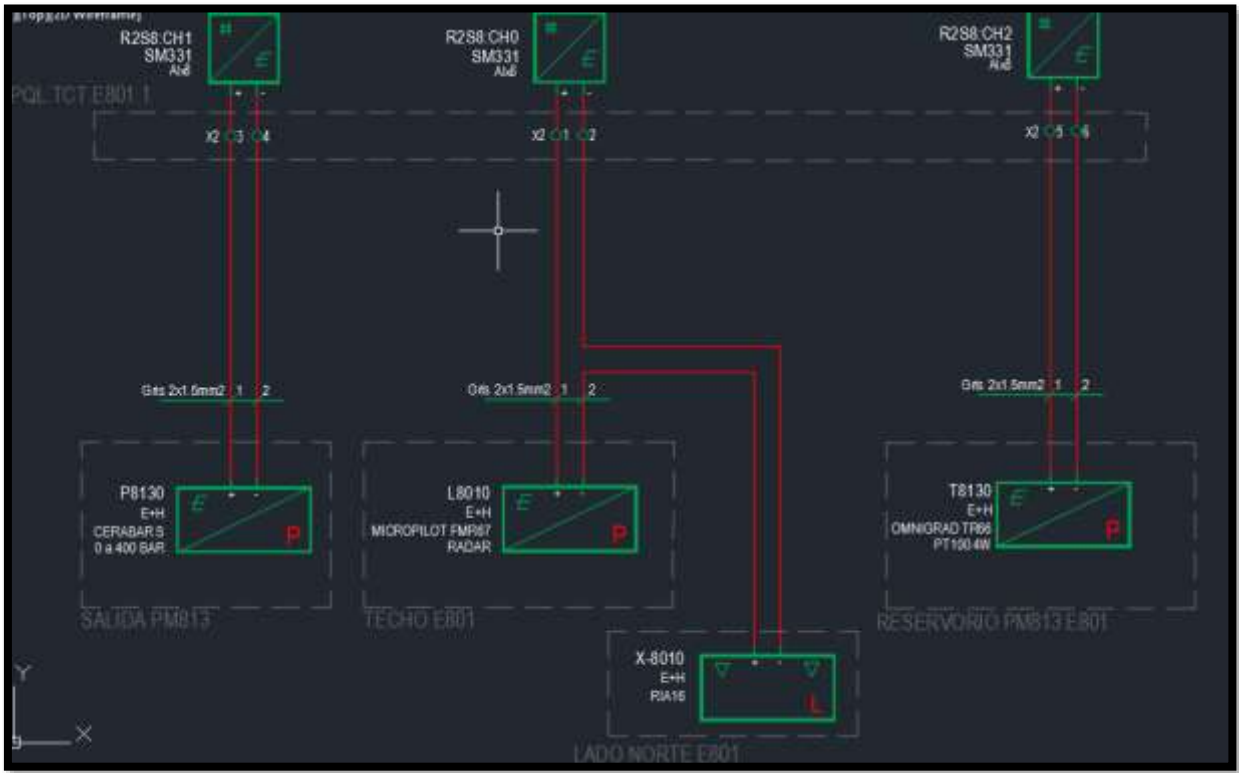
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-23. Diagrama de flujo solución de ingeniería

2.6.5 Planos del proyecto

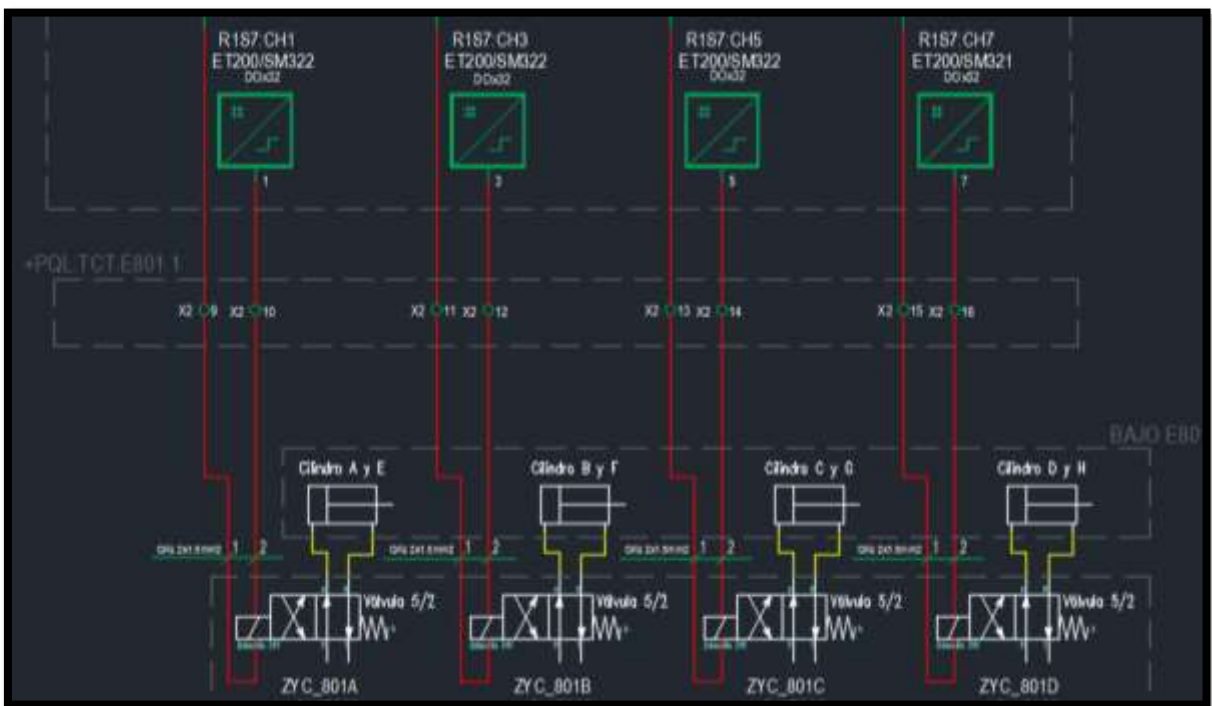
Para la correcta implementación y entendimiento de la idea se confeccionan una serie de planos con el objetivo de estipular eléctrica y físicamente donde van conectados los cables de los instrumentos hacia el sistema de control. Se crean los planos de conexión de los sensores inductivos para cerrado y apertura de cilindros, el plano para identificación de señales

analógicas, del cual, se ve un extracto en la figura 2-24. Se diseña el plano para los solenoides de apertura y cierre de cilindros, mostrado en la figura 2-25.



Fuente: Elaboración propia

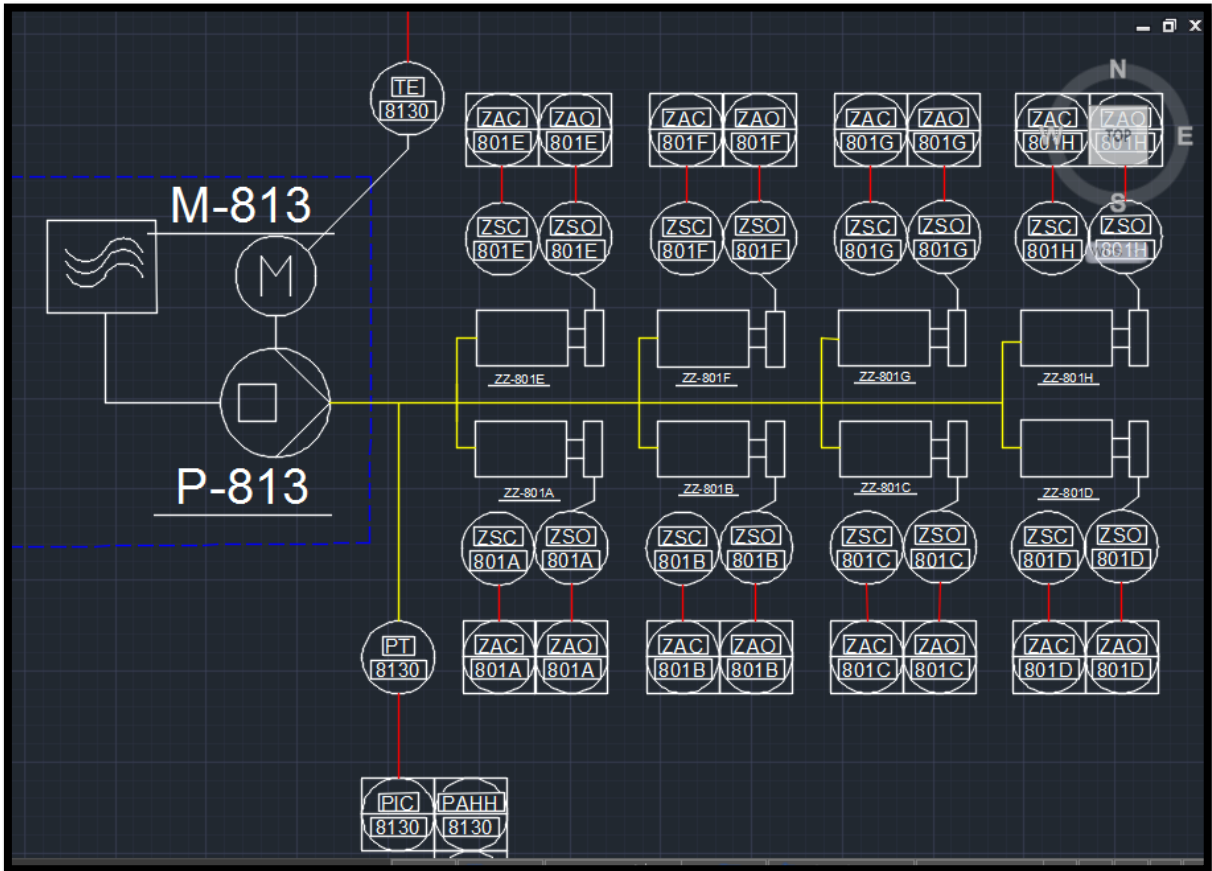
Figura 2-24. Plano de nuevas señales analógicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-25. Extracto de plano de solenoides cierre cilindros

Además, se genera un diagrama P&ID, de la sección de almacenamiento y descarga de material, donde se considera la central hidráulica como reservorio, bomba y motor, los sensores inductivos, las señales de presión, temperatura y nivel y se dispone una gráfica con el silo y las correas que intervienen con él en el proceso. En la figura 2-26 se muestran los cilindros junto a los sensores y alarmas que genera el sistema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-26. Extracto de P&ID proceso de madera, central hidráulica

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE COSTOS

3. EVALUACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se muestra el valor de los elementos a utilizar en la implementación del proyecto, así como se explica porque no se plantea otro tipo de solución más amplia al sistema de control.

Además, se muestra quienes son los colaboradores o empresas contratistas encargados de las distintas tareas a realizar en la ejecución y puesta en marcha del proyecto presentando un estimado de los costos individuales y totales para luego presentar las cotizaciones correspondientes en la sección de anexos.

3.1 ADQUISICIÓN DE ELEMENTOS

La mayor cantidad de recursos asignados a la implementación del proyecto son dedicados a la compra de los elementos de control y supervisión.

Algunos de estos elementos pueden ser adquiridos con mayor facilidad por la empresa al estar sus distribuidores en la zona central del país. Pero otros elementos es necesario cotizarlos con su representante legal en Chile, verificar la disponibilidad y tomar una decisión en cuanto a la misma. Si existe lo necesario en el país, no hay problema, pero generalmente los equipos utilizados en los proyectos de BASF Chile S.A. no tienen disponibilidad por lo que hay que encargarlos directamente al país de distribución que en todos los casos resulta siendo Alemania. El inconveniente que esto presenta es la demora en la recepción de los elementos ya que hay que planificar la adquisición de equipos hasta con 3 meses de anticipación.

3.1.1 Transmisores de nivel y presión

Para obtener una referencia de precios de los transmisores e indicadores a utilizar de la marca Endress Hauser se utiliza la herramienta en línea para cotizaciones que posee la marca. Esta herramienta web llamada E-Direct Shop o como se escribe su dirección <https://www.e-direct.endress.com/cl/es> permite al usuario realizar compras u obtener cotizaciones rápidas de los productos aquí ofrecidos. La única desventaja de este servicio es que no posee la totalidad de los productos que produce la marca. En la figura 3-1 se muestra la cotización entregada por e-direct para el indicador de campo RIA16 y su kit de montaje, entre ambos hartos suman la cantidad de US\$ 542. En la figura 3-2 y 3-3 se muestra una cotización por productos distintos pero similares a los especificados en este proyecto, para servir como comparación a la hora de

estimar los gastos. Entre el transmisor de presión y el de nivel suman US\$ 1.185. En la figura 3-4 se muestra la cotización por el transmisor de temperatura utilizado en este trabajo, el iTHERM ModuLine TM101, con un valor de US\$359.

Field indicator RIA16						
Producto / Versión		Precio/unid. en USD			Código del pedido	
Caja	Homologación	1 a 3	4 a 10	11+		
Aluminio	Zona no clasificada	458.-	426.-	403.-	RIA16-AA2B	1
<div style="text-align: right;"> 1 <input type="button" value="Añadir al carro"/> </div>						
Accesorios						
Producto / Versión		Precio/unid. en USD			Código del pedido	
Juego de montaje pared/tubería (W08)		84.02			71089844 1	
<div style="text-align: right;"> 1 <input type="button" value="Añadir al carro"/> </div>						

Fuente: <https://www.e-direct.endress.com/cl/es/indicador-campo-por-lazo-ria14-ria16>

Figura 3-1. Selección de RIA16 mediante E-Direct Shop

Prosonic T FMU30						
Producto / Versión		Precio/unid. en USD			Código del pedido	
Sensor; Rango	Máximo; Distancia Bloqueo	Conexión a Proceso	Homologación	1 a 3	4 a 10	11+
2"; 8m Líquidos/ 3.5m Sólidos; 0.35m		Rosca ANSI 2" NPT, PP	Zona no clasificada / CSA C/US Uso General	940.-	874.-	827.-
					FMU30-HGABRHF	1
<div style="text-align: right;"><input type="button" value="Seleccionar opciones"/></div>						

Fuente: <https://www.e-direct.endress.com/cl/es/prosonic-fmu30#tab2>

Figura 3-2. Selección del transmisor ultrasónico

Cerabar PMP21 - Customized measurement span						
Product / Version		Price / pcs. In EUR			Order code	
Approval	Electrical Connection	Process Connection	1 to 3	4 to 10	11+	
Non-hazardous area	Cable 5m, IP66/68 NEMA Type 4X/6P Encl.	Thread ISO228 G1/2 DIN3852,shape E,316L, flush mount	245.-	220.-	201.-	PMP21-AA1A [WJ] 1
<div style="text-align: right;"><input type="button" value="Select options"/></div>						

Fuente: <https://www.e-direct.endress.com/de/en/gauge-absolute-pressure-sensor-cerabar-pmc21-pmp21>

Figura 3-3. Selección del transmisor de presión relativa



Fuente: <https://www.e-direct.endress.com/cl/es/sonda-temperatura-tm101>

Figura 3-4. Selección y precio del módulo de temperatura.

En las imágenes se puede apreciar que la marca ofrece en su página la selección de distintas características de los transmisores.

Ya que los instrumentos estipulados a utilizar en el capítulo 2 del proyecto no se encuentran disponibles y las cotizaciones para personas naturales no son consideradas seriamente se opta por escoger estos valores para el cálculo de los costos.

En la tabla 3-1 se muestra el resumen del costo aproximado de los transmisores. El costo neto es el valor obtenido de la página e-direct de Endress Hauser, a ese valor se le agrega un 40% por los impuestos asociados a la importación y luego se hace el traspaso a pesos chilenos.

Tabla 3-1. Costo de los transmisores e indicador de campo

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
Indicador RIA15 + kit	\$ 542 USD	\$ 580.482 CLP
Transmisor Prosonic T	\$ 940 USD	\$ 1.006.740 CLP
Transmisor Cerabar PMP21	\$ 245 USD	\$ 315.945 CLP
Transmisor iTHERM TM101	\$ 359 USD	\$ 384.489 CLP
Total	\$ 2.086 USD	\$ 2.234.106 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Sensores inductivos Pepperl & Fuchs NB10-30GKK-W0

El costo de estos sensores también se hace mediante referencias en línea, puesto que no se logra utilizar cotizaciones reales. El precio se redondea a los 45 dólares americanos por unidad y se utilizan 16 sensores, 2 por cilindro siendo 8 cilindros. Esto da un total de U\$720,

esto por el 40% del coste de importación da el total en pesos chilenos, como se indica en la tabla 3-2.

Tabla 3-2. Costo estimado de los sensores inductivos

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
Inductivo P&F NB10-30GKK	\$ 720 USD	\$ 771.120 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Cilindros hidráulicos Prince

Se utilizan 8 cilindros hidráulicos de 3000 [psi] de la marca Prince, de manufactura americana con las mismas dimensiones que los cilindros instalados actualmente. El código de fabricante de este cilindro es A300160ABAAA07B. Algunas características de estos cilindros son el diámetro interno del cilindro de 3", espesor de tubo de cilindro de 3/16", un diámetro de vástago de 1 3/8", una carrera efectiva de 16", un peso de 40 [lbs] y una capacidad de carga en columna de 16730 [lbs].

Tabla 3-3. Costo de cilindros tie rod marca Prince

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
Cilindros Tie Rod PRINCE A300160AEAAA07B	\$ 3.112 USD	\$ 3.332.952 CLP

Fuente: Elaboración propia

El precio de estos cilindros hidráulicos es de US\$ 389 según el manual del fabricante. Este manual es adjuntando en los anexos del proyecto.



Fuente: <https://www.grainger.com/product/PRINCE-Hydraulic-Cylinder-4HL54>

Figura 2-4 Modelo actualizado y nuevo del cilindro hidráulico Prince

3.1.4 Módulos ET200 y Simatic TOP

Para este punto se considera la instalación de dos módulos de entradas y salidas digitales los cuales son escogidos mediante la aplicación web “Configurator” de Siemens. En ella se pueden seleccionar completamente todas las características de los módulos necesarios y hasta presentar como queda el equipo presentado y los accesorios necesarios para su instalación.

El módulo de 32 entradas digitales SM321 tiene un valor estimado según plc-city.com de U\$334,1. Así mismo, el módulo de 32 salidas digitales SM322 tiene un valor de U\$462,42. Por último el valor del módulo de entradas análogas SM331 tiene un valor de U\$438,94.

Con estos valores se presenta la tabla 3-4 con el valor total de los módulos SM para agregar al proyecto.

Tabla 3-4. Costo módulos SM321, SM322 y SM331

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
6ES7 331 7KF02-0AB0	\$ 664,28 USD	\$ 711.444 CLP
6ES7 321 1BL00-0AA0	\$ 334,1 USD	\$ 357.821 CLP
6ES7 331 7KF02-0AB0	\$ 462,42 USD	\$ 495.252 CLP
TOTAL	\$ 1.460,8 USD	\$ 1.564.517 CLP

Fuente: Elaboración propia

Los módulos Simatic TOP requeridos para la implementación del proyecto son 2 conectores frontales de código 6ES7 924-2AA20-0AA0 de U\$31 cada uno, 2 módulos terminales de código 6ES7 921-3AA20-0AA0 de U\$55,91 cada uno y 4 cables de conexión de 0.5[m] sin pantalleado, de código 6ES7 923-0BA50 de U\$15,99 cada uno. Los precios de estos elementos van desde los U\$ 15,99 hasta los U\$ 55,91. En la tabla 3-5 se resumirá el costo de estos elementos.

Tabla 3-5. Costo módulos Simatic TOP

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
6ES7 924-2AA20-0AA0	\$ 62 USD	\$ 66.402 CLP
6ES7 921-3AA20-0AA0	\$ 111,82 USD	\$ 119.759 CLP
6ES7 923-0BA50-0CB0	\$ 63,96 USD	\$ 68.501 CLP
TOTAL	\$ 237,78 USD	\$ 254.662 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Módulos SIMOCODE pro V



Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/3UF7001-1AB00-0>

Figura 3-5. SIMOCODE pro V a ser utilizado en proyecto

En el tablero PQL.EX.T1 se eliminan los elementos antiguos de funcionamiento del motor eléctrico de la central hidráulica y se instala un módulo base BU SIMOCODE pro V como el mostrado en la figura 3-5, de código 3UF7010-1AB00-0 y un valor de \$563,21 [USD] según plc-city.com, en configuración estrella triángulo. Junto al BU se instala la unidad de medición de voltaje/corriente UM+ de código 3UF7101-1AA00-0 y un valor de \$109 [USD] por unidad. En la tapa del tablero PLQ.EX.T1 se instala el módulo de operador OPD que permite la interacción y diagnóstico del módulo SIMOCODE, de código 3UF7210-1AA01-0 y un valor

de \$ 207,5 [USD]. Este modelo se utiliza principalmente en el reconocimiento de fallas que presente el módulo.

En la tabla 3-6, mostrada a continuación se muestran los valores de estos elementos más el coste de importación e impuestos asociados, aproximadamente un 40% más del valor neto en dólares luego pasado a pesos chilenos, con el dólar como referencia a \$765 [CLP].

Tabla 3-6. Costo de componentes SIMOCODE pro V

Descripción	Valor Neto en USD	Valor Total en CLP (USD=765)
3UF7010-1AB00-0	\$ 563,21 USD	\$ 603.198 CLP
3UF7101-1AA00-0	\$ 108,99 USD	\$ 116.728 CLP
3UF7210-1AA01-0	\$ 207,5 USD	\$ 222.233 CLP
TOTAL	\$ 879,7 USD	\$ 942.159 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Tableros, cables y componentes menores

En la tabla 3.7 se aprecia el costo de los elementos menores de este proyecto. Se considera menores por ser de un costo más bajo a los elementos principales de la instalación.

Se dispone de un tablero de acero inoxidable marca RITTAL, modelo AE1008.600. de 600x400x250 para servir como tablero de paso para las señales que provienen de los sensores inductivos bajo el silo y el transmisor de nivel, que lleva el nombre PQL:TCT.E801.1

En el tablero PQL.TCT.E801.1 van instalados los rieles DIN de 7,5x35[mm] para la instalación de los bornes de libre mantención para cables de 2,5 [mm²] y la fuente de poder de 24 [VDC].

Se consideran un total de 16 pilotos LED de 22 [mm] para indicación visual general de la carrera de los cilindros, instalados en la tapa exterior del tablero PQL.TCT.E801.1. 8 pilotos rojos para la indicación de cierre y 8 pilotos verdes para la indicación de apertura.

Se consideran 100 prensaestopas de las medidas PG21 y PG9, para la llegada de los cables hacia cada tablero.

Para transportar los cables se utilizan las rejillas actuales de canalización.

En el tablero PQL.EX+T1 se deben reemplazar el guardamotor, los contactores del cambio estrella/triángulo, el relé de sobrecarga y las borneras de conexión. Se agrega a este tablero la instalación de los módulos SIMOCODE proV para facilitar el control del motor de la central hidráulica.

Tabla 3-7. Costos elementos menores

Descripción	Valor Neto Unitario en USD/EUR/CLP	Valor Total en CLP (USD=765/EUR=910)
Tablero Inoxidable RITTAL	\$ 342 EUR	\$ 435.708 CLP
Riel DIN 7,5x35x2000 (x3)	\$ 4.680 CLP	\$ 14.040 CLP
Borne libre mant. 2,5mm ² (x200)	\$ 414 CLP	\$ 82.800 CLP
Tapa borne ST 4 (x50)	\$ 414 CLP	\$ 20.700 CLP
PS P&C UNO 10A	\$ 142.727 CLP	\$ 142.727 CLP
Cont. SE LC1D40A (x3)	\$ 157.331 CLP	\$ 471.993 CLP
Guardamotor SE GV3P40	\$ 497,79 USD	\$ 474.228
Relé sobrecarga SE LRD332	\$ 68.15 USD	\$ 72.988 CLP
Cable ES07Z1-K negro (x200)	\$ 180 CLP	\$ 36.000 CLP
Cable ES07Z1-K blanco (x200)	\$ 180 CLP	\$ 36.000 CLP
Cable JZ-500 25x1.0mm ² (x60)	\$6.768 CLP	\$ 483.235 CLP
Cable JZ-500 4x1.0mm ² (x100)	\$ 782 CLP	\$ 93.058 CLP
Cordón H05VV-F 4x4.0mm ² (x5)	\$2.363 CLP	\$ 14.059 CLP
Prensaestopas PG21 Legrand (x100)	\$ 1.952 CLP	\$192.500 CLP
Prensaestopas PG9 Legrand (x100)	\$ 1.842 CLP	\$ 184.200 CLP
Pilotos LED rojo (x8)	\$ 843 CLP	\$ 6.744 CLP
Pilotos LED verde (x8)	\$ 843 CLP	\$ 6.744 CLP
Plancha acero 3x1000x3000	\$ 71.990 CLP	\$ 71.990 CLP
Total		\$ 2.839.714 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Resumen de costos por elementos

La tabla 3-8 muestra de manera aún más resumida el total del costo en el que se debe incurrir para obtener la totalidad de los elementos necesarios para la implementación del proyecto. Este valor está considerado para cubrir una posible expansión del sistema al considerar módulos de conexión de sobra y no lo estrictamente necesario. Se aprecia una diferencia en los valores totales ya que

Tabla 3-8. Resumen de costos por elementos

	Descripción	Valor Total (CLP)	Valor total USD (\$765)
1	Transmisores E+H	\$ 2.234.106 CLP	\$ 2.920,4 USD
2	Sensores inductivos P&F	\$ 963.900 CLP	\$ 1260 USD
3	Cilindros hidráulicos PRINCE	\$ 3.332.952 CLP	\$ 4.356,8 USD
4	Módulos SM321,322 y 331	\$1.564.517 CLP	\$ 2.045,1 USD
5	Módulos Simatic TOP	\$ 254.662 CLP	\$ 332,9 USD
6	SIMOCODE pro V	\$ 942.159 CLP	\$ 1.231,6 USD
7	Elementos menores	\$ 2.839.714 CLP	\$ 3.618 USD
	TOTAL (CLP)	\$ 12.132.010 CLP	\$ 15.764 USD

Fuente: Elaboración propia

3.2 **DESIGNACIÓN DE TAREAS Y LICITACIONES**

Para la correcta implementación del proyecto se deben desarrollar en orden cronológico todas las acciones estipuladas en este apartado. Estas acciones se comienzan a realizar una vez adquiridos todos los elementos necesarios cotizados en el apartado 3.1.

A continuación, se establecen las acciones necesarias, quienes las ejecutan y las posibles licitaciones de servicios necesarias para la puesta en marcha.

3.2.1 Fabricación de soportes para sensores y brida para transmisor de presión

La fabricación de los soportes para los inductivos y la brida de adaptación para el transmisor ultrasónico, se desarrolla por el personal de IMA Industrial en la maestranza de BASF S.A.

La primera actividad consta de instalar las pletinas que sirven de soporte para la instalación de los sensores inductivos de cierre y apertura de cada cilindro. Para esto se dispone de una plancha de acero de 1000x1000x4, de ella se deben cortar 16 segmentos de 40x150, para realizar perforaciones y adosar la pletina al cilindro y el sensor a la pletina. La pletina que se uno al cilindro es la que lleva instalada el sensor inductivo de cierre de cada cilindro. Una pletina de iguales dimensiones se utiliza para instalar el sensor inductivo de cilindro abierto, pero esta va soldada a la estructura, siendo el punto de referencia de su instalación que el inductivo logre la detección de cilindro abierto 1” antes de su carrera total.

La segunda actividad consta de tomar una brida ciega de acero inoxidable que se encuentra disponible en la maestranza de BASF Chile S.A. y confeccionarle una perforación centrada con dimensiones idénticas a un hilo NPT de 2". Esto se realiza para montar el transmisor ultrasónico que se dispone. La perforación debe ser realizada en un torno industrial, por lo que se sugiere que el técnico a cargo de esta actividad y un ayudante, también realicen los soportes de los sensores. En la tabla 3-9 se muestra el valor estimado teniendo presente que el sueldo del técnico por día es de \$ 32.000 CLP y el del ayudante es de \$ 18.500 CLP. Además, se estima un valor de \$ 100.000 CLP en herramientas de corte, perforación e insumos.

Tabla 3-9 Costos por fabricación e instalación de piezas

Actividad: Fabricación de soportes y brida	
Empresa: IMA Industrial. S.A.	
Tiempo estimado	3 días
Personal estimado	2
Costo total	\$ 251.000 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Instalación de cilindros

Ya que se considera utilizar el mismo tipo de cilindro que el que ya se encuentra instalado, los soportes de los mismos no son modificados. La empresa encargada por defecto de esta labor es BIOMECH. S.A., empresa que se encuentra establecida y es de total confianza para BASF Chile S.A. Como es costumbre para la totalidad de este proyecto no se dispone de cotizaciones reales de estas labores, pero mediante la toma de datos e intercambio de información con los dueños de las empresas se puede establecer un criterio de cobro para la realización de este trabajo, así como para todas las labores que se indican posteriormente.

El costo total mostrado en la tabla 3-10, refleja el costo de asignar un maestro mayor en montaje de estructuras y dos ayudantes. El valor diario del maestro es de 40.000 CLP y el de los ayudantes es de 18.333 CLP cada uno. Se agregan un total de 50.000 CLP para insumos del trabajo.

Tabla 3-10 Costos por montaje e instalación de cilindros

Actividad: Instalación de cilindros	
Empresa: BIOMECH S.A.	
Tiempo estimado	2 días
Personal estimado	3
Costo total estimado0.	\$ 198.000 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Instalación de canalizaciones y tablero TCT.E801.1

Primero se considera la fabricación de la tapa del tablero, 16 perforaciones para los pilotos indicadores de estado de los cilindros. En la tapa interior del tablero se deben instalar 4 segmentos de riel DIN a lo ancho de la placa interior, donde irán instalados los bornes de libre mantenimiento y la fuente de poder de 24 [VDC]. La conexión de estos elementos se realiza utilizando los planos dispuestos en la sección de anexos pertenecientes a los sensores inductivos, transmisores, solenoides y comandos de acción del sistema. Además, se deben realizar 18 perforaciones de 16 [mm] en la parte inferior del tablero para instalar los prensaestopas PG que sirven para recibir los cables que provienen desde los sensores inductivos, el transmisor de nivel y el indicador de nivel que va a un costado del tablero. Estas perforaciones deben ser realizadas de forma que queden dos filas de 8 y 9 perforaciones, cada fila equidistante de la otra y de la línea media del tablero. También se realizan dos perforaciones de 1”1/8 para los prensaestopas PG 21 que admiten los dos cables que transportan las señales al RACK-01.

Estos cables se dejan canalizados a la intemperie en la rejilla ya existente que se utilizo para los finales de carrera actuales.

Se considera una canalización de acero galvanizado de 1/2” para llevar el cable del transmisor de nivel hacia el tablero TCT.E801.1. Se consideran los conectores pertinentes, así como las uniones y bushings necesarios en la sección de elementos menores.

Desde el tablero PQL.EX+T1 van las señales de presión y temperatura de la central hidráulica, el comando partir/parar de la central, la parada de emergencia en la central y el cable profibus para el SIMOCODE proV.

La empresa encargada de estas tareas es SPS Ingeniería, quienes están a cargo de esta labor, la instalación de la instrumentación y las pruebas de conexión, funcionamiento y puesta en marcha.

La tabla 3-11 muestra el valor día de cada técnico, el cual se estima en 40.000 CLP y además se agregan otros 50.000 CLP para insumos y detalles menores.

Tabla 3-11 Costos por cableado

Actividad: Instalar bandeja y caja de distribución	
Empresa: SPS Ingeniería Eirl.	
Tiempo estimado	4 días
Personal estimado	2 (instrumentista/electricista)
Costo total estimado	370.000 CLP

Fuente: elaboración propia

3.2.4 Instalación de la instrumentación y cableado

La instalación de los instrumentos también es realizada por SPS Ingeniería. Estos deben instalar los sensores inductivos en los soportes previamente instalados por el mecánico y el ayudante que los fabricaron. Estos sensores inductivos no poseen cable de conexión ya que tienen una bornera de conexión. De esta forma se conectan directamente al tablero de control TCT.E801.1, eliminando la necesidad de cajas de paso para cada par de sensores por cilindro.

El transmisor de presión va instalado en la central hidráulica en uno de los orificios de conexión destinados a la medición de presión con un conector “bushing” de ½” NPT a 3/8” NPT. Desde ahí sale el cable de conexión al tablero EX+T1 y posterior al TCT.E801.1.

El transmisor de temperatura va instalado en el reservorio de aceite de la central hidráulica y al igual que el transmisor de presión el cable también pasa por el tablero EX+T1 y luego se va al tablero TCT.E801.1.

Después se debe montar el transmisor de nivel ultrasónico con la brida ya instalada en el único lugar de montaje que posee el silo. Esta brida DN80 hace de soporte del transmisor mediante una rosca NPT de 2”. El cable de conexión va a la caja de distribución.

Por último, se deben instalar los módulos de entradas y salidas digitales en el ET200 del RACK-01 junto a los módulos Simatic TOP. A estos últimos se conectan los dos cordones de 25 núcleos respetando el orden de los cables indicado en el cordón, estableciendo un orden cardinal de izquierda a derecha.

La tabla 3-12 especifica el costo de dos instrumentistas con un valor día de \$ 40.000 CLP cada uno más \$ 50.000 CLP para insumos que requiera el trabajo.

Tabla 3-12. Instalar instrumentación y cableado

Actividad: Instalar instrumentación	
Empresa: SPS Ingeniería Eirl.	
Tiempo estimado	3 día
Personal estimado	2 (técnicos electricista/instrumentista)
Costo total asociado	\$ 290.000 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Programación de variables, FBD y HMI en OS

Estas tareas son realizadas por el Ingeniero de Control a cargo del proyecto y supone que viene en totalidad planificada. En esta sección solo se incluye el costo por tiempo total de trabajo del ingeniero que requiere. En total para implementar todas estas modificaciones posee un tiempo de 5 días y este tiempo contempla la revisión y modificación de cualquier detalle que pueda aparecer durante la implementación. El costo por día de trabajo del Ingeniero se cuantifica

con un valor de 200.000 CLP lo que determina un total de 1.000.000 CLP por los 5 días. Esto considera la cantidad de conocimientos insertos en la creación del proyecto.

3.2.6 Pruebas de conexión, funcionamiento y puesta en marcha

Esta actividad requiere la cooperación del ingeniero de control junto al personal de las empresas que montaron los cilindros, el cableado y la instrumentación.

Esta actividad también consta de 5 días como máximo, dando espacio a correcciones de cableado, programación o instalación de los equipos que puedan haber pasado desapercibidas durante la implementación. La tabla 3-13 ilustra de manera simple los costos asociados por puestos.

Tabla 3-13. Costos puesta en marcha

Puesto	Costo día (CLP)	Costo total (CLP)
Ingeniero de Control	\$ 200.000 CLP	\$ 1.000.000 CLP
Técnico instrumentista	\$ 40.000 CLP	\$ 200.000 CLP
Técnico Mecánico	\$ 32.000 CLP	\$ 160.000 CLP
Ayudantes (x2)	\$ 37.000 CLP	\$ 185.000 CLP
TOTAL		\$ 1.545.000 CLP

Fuente: Elaboración propia

El costo por actividades asociados se resume en la tabla 3-14, declarando además el costo de los elementos, produciéndose un total de la implementación del proyecto.

Tabla 3-14. Resumen de costos elementos e implementación

Actividad	Costo (CLP)
Fabricación de piezas e instalación	\$ 251.500 CLP
Montaje e instalación de cilindros	\$ 198.000 CLP
Instalación de canalizaciones y tableros	\$ 370.000 CLP
Instalación instrumentación y cableado	\$ 290.000 CLP
Programación	\$ 1.000.000 CLP
Puesta en marcha	\$ 1.545.000 CLP
Costo Elementos	\$ 12.132.010 CLP
Costo Total Proyecto	\$ 15.786.510 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.3 COSTOS POR FALLA Y COMPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La finalidad del proyecto es resolver un problema presente en la planta, mediante una mejora del sistema de control inexistente, a través de los conocimientos adquiridos en la carrera. Pero como toda idea, esta, además de ser buena, debe ser rentable para la compañía. Es por esto que en este apartado se muestra una relación de los costos por pérdidas al detener el proceso de extracción de la madera en forma no planificada versus el costo total del proyecto.

3.3.1 Descripción de los costos por falla de silo

El silo de almacenamiento de material triturado de la planta AP Agro genera el movimiento de material hacia la zona de extracción de la esencia de la madera. Esta etapa del proceso no puede ser saltada o realizada de otra forma que no sea con su funcionamiento normal o mediante el vaciado manual del material. Por lo tanto, la detención no programada del silo por falla incurre en la detención total de la línea de producción. Esta detención genera costos, los que se ven resumidos en la tabla 3-15.

Según los datos obtenidos al consultar al gerente de la planta, la producción anual de los productos derivados del extracto del quillay es de 320.000 litros y el valor promedio del litro está rondando los 9,5 USD. Con el valor del dólar a 765 CLP se obtiene un total de \$2.325.600.000 CLP. Con este dato se obtiene el valor que tiene cada hora de falla no programada o costo de hora sin producir en forma aproximada. Este valor es de \$ 265.479 CLP.

El valor día operador se estima con la totalidad del sueldo del operador asumiendo que está en labores de descarga de material durante la totalidad del día. Con un sueldo promedio de \$ 1.300.000 CLP, se obtiene un valor diario de 43.350 CLP aproximadamente.

Al producirse la falla en el silo de descarga, la planta hace un llamado de prioridad al personal de mantenimiento para determinar y atacar la falla producida. Por este hecho acude generalmente un instrumentista, un mecánico y un electricista junto a un ayudante para intentar resolver la falla lo más rápido posible en caso de ser posible. Generalmente, las fallas del silo conllevan que los técnicos utilicen todo el día en labores de diagnóstico y reparación, por lo que se asocia un costo por mantención a la detención utilizando los valores día de trabajo de los técnicos que en este caso son 40.000, 33.350, 36.700 y 18.350 CLP respectivamente.

Además de necesitar el personal para realizar la mantención se necesitan repuestos de los equipos que fallan además de insumos para el trabajo, como paños, lubricantes, grasas, pernos, tuercas, trajes desechables, mascarillas para el polvo producido por el material triturado, etc. Esto se aproxima a un valor de 750.000 CLP.

Tabla 3-15. Costo diario por detención no programada

Actividad	Valor	Cantidad	Valor Total
Valor por hora sin producir por falla en un día	\$ 265.479 CLP	24	\$ 6.371.506 CLP
Valor día operador fuera de sus actividades	\$ 43.350 CLP	1	\$ 43.350 CLP
Valor técnicos mantenimiento por día	\$ 146.750 CLP	1	\$ 146.750 CLP
Insumos y repuestos	\$ 750.000 CLP	1	\$ 750.000 CLP
Costo Total Diario			\$ 7.311.606 CLP

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Comparación con el costo del proyecto

Al revisar los costos de implementación del proyecto versus los costos diarios por detención no programada como se presenta en la tabla 3-15, es evidente la conveniencia de la implementación de la mejora del sistema en el sentido monetario. Esta solución considera la mejora total del sistema de descarga, además del monitoreo de las variables desde la sala de control y establece reglas de seguridad del proceso para evitar el desgaste innecesario de los elementos. La tabla 3-16 muestra enfrentados los costos por realización del proyecto versus el costo diario por falla.

Tabla 3-16. Comparación de costos

Costos proyecto	Costo diario falla en silo
\$ 15.786.510 CLP	\$ 7.311.606 CLP
\$ 20.636 USD	\$ 9.558 USD

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de título se evalúan un par de soluciones al problema propuesto, siendo la constante en estas soluciones, el deseo de mejorar el rendimiento total del funcionamiento de la planta y la producción.

Aunque esta planta es relativamente nueva, contando con menos de 10 años de funcionamiento, presenta una gran oportunidad de mejora, aprendizaje y aplicación de conocimientos adquiridos en la carrera y la vida laboral. Lamentablemente, la implementación de un proyecto de este tipo debe pasar por una cantidad de instancias superiores que no hacen posible desarrollarlo práctica y totalmente. Pero, aun así, el desarrollo parcial del proyecto permite ver que la mejora de esta sección de la planta no se hace imposible en el futuro además de ser totalmente viable contando con el presupuesto de mantención o proyectos de los que disponen este tipo de plantas.

El enfoque de este trabajo de título apunta a la posibilidad de mejorar la funcionalidad de una parte importante del proceso, mediante la automatización y una inyección de capital, que, siendo comparada con el costo diario estimado de falla, resulta tentador de poner en práctica.

Para concluir, a pesar de haber realizado la propuesta a la empresa, esta no considera la implementación en el corto ni mediano plazo. Sin embargo, se deja en evidencia la conveniencia y rentabilidad del proyecto, ya que con solo dos días de falla se absorbe la inversión, se logra la renovación de los elementos principales del sistema y se prolonga la vida útil de los mismos al estar integrados en un sistema de control automático y monitoreado, lo que finalmente, permite que los costos por falla de cilindros hidráulicos tiendan a cero.

BIBLIOGRAFÍA

- PROFIBUS, PROFIBUS & PROFINET International [en línea] 2019 [consulta 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://www.profibus.com/>>
- BASF AG, BASF Global [en línea] 2019 [consulta 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://www.basf.com/global/en.html>>
- ENDRESS + HAUSER, Applicator [en línea] 2019 [consulta 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://www.cl.endress.com/es?locale=es>>
- VITEL ENERGIA, Cotización de elementos instalación [en línea] 2019 [consulta el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://www.vitel.cl/>>
- SIEMENS; Catalogo de equipos Mall Industry [en línea] 2019 [consulta 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://mall.industry.siemens.com/>>
- PEPPERL FUCHS, Catálogo de productos [en línea] 2019 [consulta 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/21.htm>>
- FILE INFO [en línea] 2020 [consulta 1 de marzo de 2020]. Disponible en: <<https://fileinfo.com/extension/gsd>>