



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”**

**MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Automatización del Limpiador de alta densidad (HDC) para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.
Línea de Investigación:
Automatización y control de procesos con aplicaciones en la industria Papelera
Campo amplio de conocimiento:
Electrónica y Mecánica.
Autor/a:
Alan Espinoza
Tutor/a:
Mg. Wilmer Albarracin

Quito – Ecuador

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, **Wilmer Fabian Albarracin Guarochico** con C.I: **1713341152** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Automatización del Limpiador de alta densidad (HDC) para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.**

Elaborado por: **Alan Jorell Espinoza Ibarra**, de C.I:**1718062167**, estudiante de la Maestría: **ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M.,4 de septiembre de 2023



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Alan Jorell Espinoza Ibarra, con C.I: **1718062167** autor/a del proyecto de titulación denominado: **Automatización del Limpiador de alta densidad (HDC) para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.** Previo a la obtención del título de Magister en: **ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN.**

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 4 de septiembre de 2023

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iii
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema	1
Problema de investigación	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	3
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
1.1. Contextualización general del estado del arte	5
1.2. Proceso investigativo metodológico	7
CAPÍTULO II: PROPUESTA	9
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	9
2.2 Descripción de la propuesta	14
2.3 Validación de la propuesta	19
2.4 Matriz de articulación de la propuesta	21
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	23
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	34

Índice de tablas

Tabla 1 Perfil de validadores	19
Tabla 2 Criterios de evaluación	19
Tabla 3 Escala de evaluación	20
Tabla 4 Matriz de evaluación	21
Tabla 5 Componentes HDC y costos	24

Índice de figuras

Figura 1 PLC Siemens S7-1200	13
Figura 2 SIMATIC HMI-KTP400	14
Figura 3 Proceso de operación del equipo HDC en el proceso de producción de papel.	16
Figura 4 Esquema de automatización para el limpiador de alta densidad.	17
Figura 5 HMI del limpiador de alta densidad	18
Figura 6 Componentes del limpiador de alta densidad	23
Figura 1 Equipo HDC construido e instalado en la planta	24
Figura 8 Código de bloque para el control de la operación del HDC	26
Figura 9 Operación HMI instalado en el HDC	27
Figura 10 Sistema de control con PLC instalado en el HDC	27
Figura 11 Cálculo de producción antes de la implementación.	28
Figura 12 Cálculo de producción después de la implementación	29

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La industria papelera ha sido un pilar esencial en la fabricación de productos cotidianos, desde periódicos hasta envases y materiales de escritura. Para mantenerse competitiva en un mercado en constante evolución y cumplir con las crecientes demandas de calidad y sostenibilidad, la industria enfrenta desafíos persistentes relacionados con la eficiencia operativa, la calidad del producto y la gestión ambiental.

La industria papelera desempeña un papel fundamental en la producción de diversos productos de consumo y materiales esenciales en nuestra vida cotidiana. Uno de los procesos críticos en esta industria es la preparación de la pasta de papel, que involucra la conversión de materias primas fibrosas en una suspensión acuosa homogénea. Dentro de este proceso, el limpiador de alta densidad (HDC) desempeña un papel esencial al eliminar impurezas y contaminantes que podrían afectar la calidad final del papel, se considera un proceso crítico que sienta las bases para la producción de papel de alta calidad.

El limpiador de alta densidad (HDC) es una parte crucial del proceso de preparación de pasta, ya que se encarga de eliminar partículas indeseadas, como arena, polvo y otros contaminantes que podrían afectar negativamente la calidad del papel. Tradicionalmente, este proceso ha requerido una supervisión manual intensiva para ajustar parámetros y controlar la operación del limpiador. Sin embargo, esta metodología manual puede ser propensa a variaciones en la calidad del producto y a ineficiencias operativas.

Uno de los desafíos clave en la industria papelera es la variabilidad inherente de las materias primas y las condiciones de operación. La automatización del limpiador de alta densidad (HDC) tiene el potencial de mitigar esta variabilidad al ajustar automáticamente los parámetros del proceso en función de los datos en tiempo real y los algoritmos de control avanzados. Esto no solo contribuye a la calidad uniforme del papel, sino que también minimiza la necesidad de intervención manual constante, liberando recursos humanos para tareas más especializadas.

La aplicación de la automatización en el limpiador de alta densidad (HDC) presenta un potencial significativo para mejorar la consistencia del proceso, reducir los costos operativos y optimizar la calidad del producto final. La introducción de sensores avanzados, sistemas de control automático y algoritmos de procesamiento de datos puede permitir la monitorización

en tiempo real de las condiciones del proceso y ajustes precisos de los parámetros operativos. Además, la automatización puede llevar a una detección más rápida de problemas y a una respuesta inmediata, minimizando los tiempos de inactividad no planificados.

La automatización industrial ha demostrado ser un catalizador para la mejora de procesos en diversas industrias, y la industria papelera no es una excepción. La demanda constante de papel de alta calidad y la necesidad de optimizar los recursos han impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras que permitan una producción más eficiente y sostenible. La automatización del limpiador de alta densidad (HDC) en el proceso de preparación de pasta es un paso crucial hacia la modernización y optimización de la cadena de producción en la industria papelera.

La contextualización del problema en la automatización del limpiador de alta densidad (HDC) en la preparación de pasta en la industria papelera, es un análisis profundo de la tecnología para abordar los desafíos operativos y de calidad en la industria. La valoración del ambiente industrial añade una capa de realismo a este contexto al considerar cómo se adaptará y adoptará la automatización en el entorno existente. A medida que la industria se esfuerza por mantenerse competitiva y sostenible, la exploración de soluciones automatizadas se convierte en un paso crucial hacia la eficiencia y la calidad mejorada.

Problema de investigación

Actualmente, el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA. S.A, se efectúa de forma semiautomática con intervención de un operador y un sistema de operación controlado solamente por relés acorde a los tiempos de operación previstos por producción, lo que provoca un desperdicio de pasta, a la vez, existe contaminación afectando la consistencia y calidad, incidiendo en la calidad del papel, también en la eficiencia operativa del proceso. En el caso de la preparación de la pasta, es apropiado el control de las materias primas fibrosas que alteran la consistencia de la pasta de papel.

En este contexto, existe una carencia de automatización del proceso de elaboración de pasta, este es un proceso manual, lo que puede resultar en variabilidad en la calidad de la pasta, ineficiencias en la operación y costos operativos más altos. Esta metodología manual no solo es susceptible a errores humanos, sino que también limita la capacidad de ajustar los parámetros de operación en tiempo real para optimizar el proceso.

El proceso de elaboración de pasta de papel es una serie de etapas interconectadas que transforman la materia prima fibrosa en una suspensión acuosa homogénea, lista para la

producción de diferentes tipos de papel y productos relacionados. El proceso puede variar según la técnica específica utilizada (pulpa química o mecánica).

Bajo este contexto, la automatización del limpiador de alta densidad (HDC) surge como una solución prometedora para abordar los desafíos mencionados. La automatización podría permitir el monitoreo en tiempo real, el ajuste automático de parámetros y la optimización basada en datos, lo que resultaría en una mayor consistencia en la calidad de la pasta, una eficiencia operativa mejorada y una reducción de costos a largo plazo.

Objetivo general

Implementar un sistema de automatización para limpiador de alta densidad (HDC) de materia prima de papel para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.

Objetivos específicos

- Definir los requerimientos de automatización del proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA. S.A
- Seleccionar los elementos de sensores, actuadores y sistema de control para realizar la automatización del proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.
- Diseñar un sistema de automatización para limpiador de alta densidad (HDC) de materia prima de papel para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA.S.A.
- Instalar los sistemas de control actuadores, sensores, tablero de control, PLC pantalla HMI, cámara de delusión, sistema de válvulas del proceso de preparación de pasta.
- Validar los resultados mediante pruebas de funcionamiento del sistema de automatización implementado.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La vinculación con la colectividad y el impacto en la sociedad son aspectos esenciales para considerar en cualquier proyecto de titulación, especialmente cuando se trata de implementar tecnologías en industrias que tienen un impacto significativo en la comunidad y el medio ambiente, como la industria papelera. En el caso de la automatización del limpiador de alta densidad (HDC) en la preparación de pasta de papel, la vinculación con la colectividad y el impacto en la sociedad pueden abordarse de la siguiente manera:

- **Participación y Comunicación:** Desde las primeras etapas del proyecto, es crucial involucrar a la comunidad, los trabajadores de la industria y las partes interesadas en el proceso de automatización. La comunicación transparente sobre los objetivos del proyecto, sus beneficios y desafíos, así como la posibilidad de recibir retroalimentación, crea una relación de confianza y transparencia.
- **Capacitación y Adiestramiento:** La automatización puede requerir nuevas habilidades y conocimientos por parte del personal de la industria. Ofrecer programas de capacitación y adiestramiento para los trabajadores garantiza una transición fluida y exitosa hacia el nuevo sistema. Esto no solo beneficia a la organización, sino también a los empleados, al mejorar sus habilidades y su empleabilidad.
- **Generación de Empleo y Calidad Laboral:** La automatización no necesariamente implica la eliminación de empleos, sino la reconfiguración de las tareas. La creación de empleos relacionados con la operación, mantenimiento y supervisión de sistemas automatizados puede tener un impacto positivo en la comunidad local. Además, la mejora de la calidad laboral al reducir tareas repetitivas y peligrosas es un beneficio directo.
- **Impacto Ambiental y Sostenibilidad:** La automatización puede influir en la sostenibilidad al reducir el desperdicio, mejorar la eficiencia energética y optimizar el uso de recursos. La comunidad puede beneficiarse de la reducción de la huella ambiental de la industria papelera, lo que a su vez contribuye al bienestar general y al atractivo de la región.
- **Calidad del Producto y Consumidores:** La automatización puede llevar a una mejora en la consistencia y la calidad del producto final, lo que impacta directamente en los consumidores. La comunidad puede disfrutar de productos de papel más confiables y de mejor calidad, lo que refuerza la confianza en la industria y su compromiso con la excelencia.
- **Difusión de Conocimientos y Avances:** La investigación y la implementación de la automatización pueden generar conocimientos y mejores prácticas que benefician a la industria en su conjunto. Compartir estos conocimientos con la comunidad y otras partes interesadas puede promover la innovación y el desarrollo económico local.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

La automatización de procesos industriales ha sido un enfoque clave para mejorar la eficiencia, la calidad y la rentabilidad en diversas industrias, incluida la industria papelera. La optimización de la preparación de pasta en esta industria es esencial para garantizar la calidad del papel y responder a las demandas cambiantes del mercado. El limpiador de alta densidad (HDC) desempeña un papel crítico en este proceso al eliminar contaminantes y mejorar la homogeneidad de la pasta. A lo largo de los años, ha habido avances significativos en la automatización de este componente clave.

El estado del arte de la automatización del limpiador de alta densidad (HDC) en la industria papelera se encuentra en una etapa de rápido desarrollo, impulsada por avances en tecnologías de sensores, sistemas de control y análisis de datos. La calidad y la eficiencia en la producción de papel son cruciales, y uno de los procesos fundamentales en esta industria es la preparación de la pasta de papel. En este contexto, la automatización se ha convertido en una herramienta esencial para mejorar la calidad del producto, optimizar la eficiencia y reducir costos en el proceso de preparación de pasta. En este campo, existe la tendencia hacia la integración de tecnologías avanzadas, como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, en la automatización del HDC está en aumento. Estas tecnologías permiten un control más sofisticado y una toma de decisiones basada en datos en tiempo real. Otro aspecto relevante es la incorporación de la Internet de las Cosas (IoT) y los sensores inteligentes son elementos clave en la automatización industrial. La investigación se enfoca en el desarrollo de sensores más avanzados que pueden monitorear múltiples variables y proporcionar datos precisos para el control del HDC.

Acorde a Smith y García (2017), en su trabajo “Challenges and Prospects of Automation in the Pulp and Paper Industry” establece el uso de tecnologías sofisticados para el control de los procesos de producción de pulpa de papel, al combinar sensores inteligentes con el IoT para la medida del proceso de mezcla. Los procesos desarrollados permiten la mejora la calidad y eficiencia del proceso analizado.

En el trabajo elaborado por Pereira et al. (2019), titulado “Data augmentation Applied to Machine Learning-Based monitoring of a pulp and paper process”, detalla el uso de datos de procesos archivados industriales como una fuente conveniente de información para modelos basados en datos, como las redes neuronales artificiales, que pueden usarse para mejorar la seguridad y la eficiencia, como la detección y el diagnóstico tempranos o incluso predictivos de

fallas. Sin embargo, la mayoría de los datos utilizados para la generación del modelo son representativos de los estados nominales del proceso y por lo tanto no son suficientes para problemas de clasificación destinados a determinar condiciones anormales del proceso. Este trabajo propone el uso de técnicas para aumentar los estándares de datos reales originales, descartando la necesidad de experimentos que podrían poner en peligro la seguridad del proceso. Utiliza la técnica de Monte Carlo para aumentar artificialmente el número de entradas del modelo acopladas a la búsqueda de vecinos más cercanos por distancias geométricas para clasificar consistentemente los patrones generados en estados normales o defectuosos. Finalmente, se entrena una red neuronal de función de base radial con los datos aumentados. La metodología fue validada mediante un caso de estudio en el que se ampliaron 3381 puntos de datos industriales de pulpa y papel para monitorear la formación de partículas en una caldera de recuperación. Solo el 5,8 % de los datos del proceso original eran ejemplos de condiciones defectuosas, pero la nueva recopilación de datos ampliada y equilibrada aprovechó el rendimiento de clasificación de la red neuronal, permitiendo su uso futuro con fines de seguimiento.

En el trabajo elaborado Hernández y Martínez (2022) titulado Diseño de un sistema automatizado para control de consistencia en el proceso de preparación de pasta en una empresa papelera, tiene por objetivo desarrollar un sistema automatizado para supervisar y controlar la consistencia de la pasta de papel en una empresa dedicada a la fabricación de papel. El proceso se basa en la observación de que las empresas que han optado por incorporar la automatización en sus procesos de producción han obtenido resultados beneficiosos. Este estudio es de naturaleza aplicada, específicamente de diseño no experimental, con un enfoque transversal y una orientación descriptiva. El trabajo se desarrolló en los procesos industriales en el área de HYDRAPULPER 7 de la empresa TRUPAL S.A. Para recopilar datos, se emplearon técnicas de observación, y los instrumentos utilizados fueron fichas de observación y fichas de registro. A través de este método, se analizó la situación en el área de Hydrapulper, lo que permitió identificar las variables de procesos que forman parte de la preparación de la pasta. Como resultado, se determinó que la consistencia era del 3.5%. A partir de este hallazgo, se desarrolló un programa para un autómata programable utilizando bloques PID. Además, se llevó a cabo un análisis de costo-beneficio mediante la aplicación de las herramientas de análisis DEL Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno. Esto ayudó a evaluar la viabilidad y la rentabilidad de la propuesta de mejora. En conclusión, se encontró que el uso de bloques PID simplifica la programación del PLC (Controlador Lógico Programable) y la hace más práctica y con un gran potencial. Asimismo, el sistema automatizado contribuye

al aumento de la producción y a la reducción de los tiempos de espera y los accidentes laborales, lo que se traduce en una rentabilidad positiva.

En el trabajo de Benalcázar (2023) titulado “Diseño y simulación de un proceso de automatización para la fabricación de cajas de cartón corrugado” tiene por objeto implementar la automatización completa del proceso de fabricación de cajas de cartón corrugado, desde la etapa de la materia prima hasta el almacenamiento final de los productos terminados. Para alcanzar este propósito, se abordan diversos subprocesos adicionales, que incluyen la corrugación, el transporte, el troquelado, la impresión de etiquetas y la adherencia. El enfoque de trabajo implica la definición de la lógica y el flujo de todo el proceso, la selección de maquinaria y sensores apropiados, la programación del controlador lógico utilizando TIA PORTAL, y la creación de una interfaz gráfica HMI (Interfaz de Máquina Humano) para la interacción del usuario. Además, se estableció un sistema SCADA para supervisar la producción en tiempo real. Para asegurarse de que el sistema funcione adecuadamente, se ha llevado a cabo una simulación exhaustiva que permite verificar su correcto funcionamiento y representa de manera efectiva todo el proceso de fabricación automatizada de cajas de cartón corrugado.

Uno de los desarrollos más notables en la automatización de la industria papelera se encuentra en el proceso de preparación de pasta, específicamente en el control y monitoreo del HDC. Los avances tecnológicos han permitido la implementación de sistemas de control avanzados y sensores inteligentes para garantizar una limpieza eficiente de la pasta de papel. A pesar de los beneficios significativos, la automatización del HDC presenta desafíos específicos, como la inversión inicial, la adaptación de la infraestructura y la capacitación del personal.

1.2. Proceso investigativo metodológico

Este trabajo de investigación corresponde a un tipo de investigación aplicada, ya que se usarán los conocimientos adquiridos en la observación, análisis y automatización del proceso de preparación de la pasta en limpiador de alta densidad, para la mejora del proceso productivo de la planta productiva

El diseño de la investigación es del tipo experimental, ya que, al identificar los problemas, las causas y efectos, se manejan las variables del proceso con la finalidad de mejorar la producción de pasta de papel.

El alcance de la investigación es explicativo, por ello, se diseña el equipo limpiador de alta densidad, así como el sistema de control y manipulación de las variables por medio del HMI con la finalidad de controlar el proceso de producción de pasta de papel.

El trabajo de investigación utilizará los métodos de análisis-síntesis y deductivo- inductivo. El método de análisis y síntesis se utilizará para elaborar una recopilación bibliográfica que establezca los pasos más apropiados para el desarrollo del sistema de control y manipulación con HMI. Por su parte, el método deductivo-inductivo con el uso de herramientas informáticas para la programación del PLC y el HMI, con la finalidad de controlar y manipular la producción de pasta de papel.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1 Proceso de fabricación de papel

La pulpa es un componente esencial en la producción de papel y productos de papel, y su proceso de fabricación es una parte crítica de la industria papelera. Este proceso transforma la materia prima, que generalmente es madera, en una suspensión de fibras de celulosa que se utilizará para fabricar una amplia gama de productos de papel, desde papel de oficina hasta cartón corrugado y productos de papel higiénico. Los procesos de fabricación se describen a continuación

1. Preparación de la Materia Prima

La materia prima principal en la fabricación de pulpa es la madera, que se obtiene de fuentes sostenibles en la industria forestal. Antes de procesar, la madera se somete a un proceso de desbaste y trituración para reducir su tamaño y eliminar impurezas como corteza y tierra. La madera se puede obtener de diferentes tipos de árboles, como coníferas (pino y abeto) o frondosas (eucalipto y roble), según las propiedades deseadas de la pulpa final.

2. Elaboración de pulpa

Una vez que la madera ha sido preparada, se procede al pulpeado, que es el proceso de separar las fibras de celulosa de otros componentes de la madera. Esto se logra mediante procesos químicos, mecánicos o una combinación de ambos. En el pulpeado químico, se utilizan productos químicos como sulfato de sodio o hidróxido de sodio para descomponer la lignina y separar las fibras. En el pulpeado mecánico, se aplican fuerzas mecánicas para separar las fibras sin eliminar completamente la lignina. El tipo de pulpeado afecta las características de la pulpa, como su resistencia y color.

3. Blanqueo (Opcional)

En algunos casos, se lleva a cabo un proceso de blanqueo para eliminar aún más las impurezas y dar a la pulpa el color y la calidad deseada. Esto implica el uso de productos químicos, como el dióxido de cloro, para blanquear las fibras de celulosa.

4. Lavado y Depuración

Tras el pulpeado, la pulpa se somete a una serie de procesos de lavado y depuración para eliminar los productos químicos residuales y otras impurezas. Este paso es esencial para garantizar que la pulpa sea de alta calidad y apta para su uso en la fabricación de papel.

5. Almacenamiento y Transporte

La pulpa resultante se almacena en tanques o se transporta en forma de pasta fibrosa hacia la máquina de papel, donde se formarán las hojas de papel.

6. Formación de la Hoja

En la máquina de papel, la pulpa se mezcla con agua para formar una suspensión acuosa. Esta suspensión se vierte sobre una malla o tamiz en movimiento, permitiendo que el agua se drene a través de la malla y las fibras se entrelazan para formar una hoja húmeda.

7. Prensado y Secado

La hoja húmeda pasa a través de rodillos prensadores que eliminan el exceso de agua. Luego, se seca mediante secadores de aire caliente o cilindros calentados, lo que resulta en una hoja de papel seca y lista para su procesamiento final.

8. Procesamiento Final y Embalaje

La hoja de papel se puede someter a procesos de acabado, como el calandrado o la aplicación de recubrimientos especiales, dependiendo del tipo de papel deseado. Luego, se corta y se embala según las especificaciones del producto final.

El proceso de fabricación de pulpa es un conjunto complejo de pasos que convierte la materia prima en pulpa de celulosa de alta calidad, lista para ser utilizada en la producción de una variedad de productos de papel. La eficiencia y la sostenibilidad son preocupaciones clave en la industria papelera actual, lo que ha llevado a la implementación de tecnologías más limpias y prácticas sostenibles en todo el proceso de fabricación de pulpa.

Es importante destacar que la industria del papel sigue avanzando en la búsqueda de métodos más eficientes y sostenibles para producir pulpa y papel, lo que incluye el uso de materiales reciclados y procesos de producción más limpios. El conocimiento actualizado y la innovación son esenciales para mantenerse al día en esta industria en constante evolución. Para ello, el proceso de fabricación de pulpa es una parte integral de la industria del papel, y su

eficiencia y sostenibilidad son aspectos críticos en la producción de productos de papel de alta calidad para una amplia variedad de aplicaciones.

2.1.2 Programadores de control lógico (PLC)

La automatización industrial ha sido un pilar fundamental en la evolución de la industria moderna. En este contexto, la combinación de Controladores Lógicos Programables (PLC, por sus siglas en inglés) y las Interfaces Human-Máquina (HMI) ha revolucionado la forma en que las empresas operan, aumentando la eficiencia, la precisión y la competitividad.

Los equipos PLC son dispositivos programables diseñados para controlar procesos industriales y maquinaria. Su flexibilidad y capacidad de adaptación a una variedad de aplicaciones los convierten en componentes esenciales de la automatización. Los PLC se programan para tomar decisiones en tiempo real, lo que permite una respuesta instantánea a los cambios en el entorno industrial. Esto se traduce en un aumento de la eficiencia y la calidad de los procesos.

Una de las ventajas más destacadas de los PLC es su capacidad para operar en entornos industriales adversos. Son resistentes a condiciones extremas de temperatura, humedad y vibración, lo que los hace ideales para aplicaciones en fábricas, plantas de energía, sistemas de transporte y más. Además, su confiabilidad y durabilidad son invaluableles en entornos donde la interrupción de la producción podría tener graves consecuencias económicas.

2.1.3 HMI: La Interfaz entre Humanos y Máquinas

Las HMI son interfaces gráficas que permiten a los operadores humanos interactuar con sistemas automatizados de manera intuitiva. Estas pantallas táctiles proporcionan información en tiempo real sobre el estado de la maquinaria y los procesos. Además, permiten a los operadores ingresar datos y comandos, lo que simplifica la supervisión y el control de sistemas complejos.

La capacidad de las HMI para presentar información de manera visual y comprensible es crucial para la toma de decisiones efectiva. Los operadores pueden monitorear el rendimiento de las máquinas, detectar anomalías y responder rápidamente a problemas potenciales. Esto reduce el tiempo de inactividad, aumenta la productividad y mejora la seguridad en el lugar de trabajo.

La verdadera magia de la automatización se manifiesta cuando se integran PLC y HMI. Los PLC toman decisiones basadas en datos recopilados por sensores y actuadores, y las HMI proporcionan a los operadores una visión completa y comprensible de los procesos. Esta sinergia permite una supervisión y control eficientes y precisos. Por ejemplo, en una planta de

producción de alimentos, un PLC puede monitorear y controlar la temperatura, el flujo de ingredientes y el tiempo de cocción. La HMI muestra a los operadores gráficos en tiempo real de estos parámetros, lo que les permite ajustarlos según sea necesario. Si se detecta una desviación en la temperatura, el PLC puede tomar medidas correctivas automáticamente antes de que se convierta en un problema significativo.

2.1.4 Automatización con PLC y HMI

La automatización con PLC y HMI continúa evolucionando. La incorporación de tecnologías como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial está llevando la toma de decisiones en la automatización a un nivel completamente nuevo. Los sistemas se vuelven más autónomos y predictivos, anticipando y resolviendo problemas antes de que ocurran. Además, la interconexión de dispositivos a través de la Internet de las Cosas (IoT) permite la monitorización y el control remotos, lo que brinda a las empresas una mayor flexibilidad y eficiencia operativa. La ciberseguridad se convierte en un tema crítico para proteger estos sistemas automatizados.

La automatización con PLC y HMI ha transformado la industria moderna al aumentar la eficiencia, la precisión y la competitividad. Estos sistemas permiten una interacción eficaz entre humanos y máquinas, lo que se traduce en una toma de decisiones más rápida y precisa. A medida que avanzamos hacia un futuro más automatizado, la colaboración entre humanos y sistemas automatizados seguirá siendo esencial para lograr un mundo más eficiente y productivo.

2.1.5 Elementos de control para la automatización de Limpiador de alta densidad (HDC) para el proceso de preparación pasta.

Para el proceso de control, se emplean los siguientes elementos:

PLC 1200 Siemens DC-DC. Es un controlador compacto, corresponde a un dispositivo que permite realizar tareas productivas sencillas, pero de alta precisión. Su diseño es escalable y flexible, lo que permite adaptarlo a diferentes necesidades. Además, reduce los requisitos de espacio en el cuadro de control. El software del controlador es fácil de aprender y de usar, gracias a su navegación sencilla y a la estandarización de símbolos y menús. El componente se identifica en la figura 5.

Figura 1
PLC Siemens S7-1200



Fuente: Siemens, 2022

Las características del equipo son las siguientes:

- Un potente procesador de 64 bits que proporciona un rendimiento de cálculo superior.
- Una interfaz Ethernet / PROFINET integrada que permite una comunicación rápida y fiable con otros dispositivos.
- Entradas analógicas integradas que facilitan la medición de variables físicas.
- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen que simplifican el desarrollo de aplicaciones de movimiento.
- Una herramienta de software de programación intuitiva que permite crear y modificar programas de control de forma rápida y sencilla.

Pantalla HMI KTP400. Es un panel táctil industrial de 4 pulgadas que ofrece una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar. Está diseñado para aplicaciones de automatización de procesos, como la supervisión de máquinas y la operación de procesos. El panel tiene una pantalla TFT de 4 pulgadas con una resolución de 480 x 272 píxeles. La pantalla es táctil y ofrece una respuesta rápida y precisa. El panel también tiene un teclado numérico y un teclado alfanumérico para la entrada de datos. Este dispositivo se visualiza en la figura 2.

Figura 2
SIMATIC HMI-KTP400



Fuente: Siemens, 2023

El equipo SIMATIC HMI-KTP400 tiene una serie de características que lo hacen ideal para aplicaciones industriales, incluyendo:

- Una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar: El panel utiliza gráficos y símbolos estandarizados para facilitar la comprensión y el uso.
- Una pantalla TFT de alta resolución: La pantalla ofrece una imagen clara y nítida, incluso en condiciones de luz brillante.
- Un teclado numérico y alfanumérico: El teclado facilita la entrada de datos numéricos y alfanuméricos.
- Un amplio rango de funciones: El panel ofrece una amplia gama de funciones, incluyendo la supervisión de máquinas, la operación de procesos y la visualización de datos.

2.2 Descripción de la propuesta

2.2.1 Estructura general

El Limpiador de Alta Densidad (HDC, por sus siglas en inglés, High-Density Cleaner) es un equipo crucial en el proceso de preparación de pasta en la industria papelera. Su función

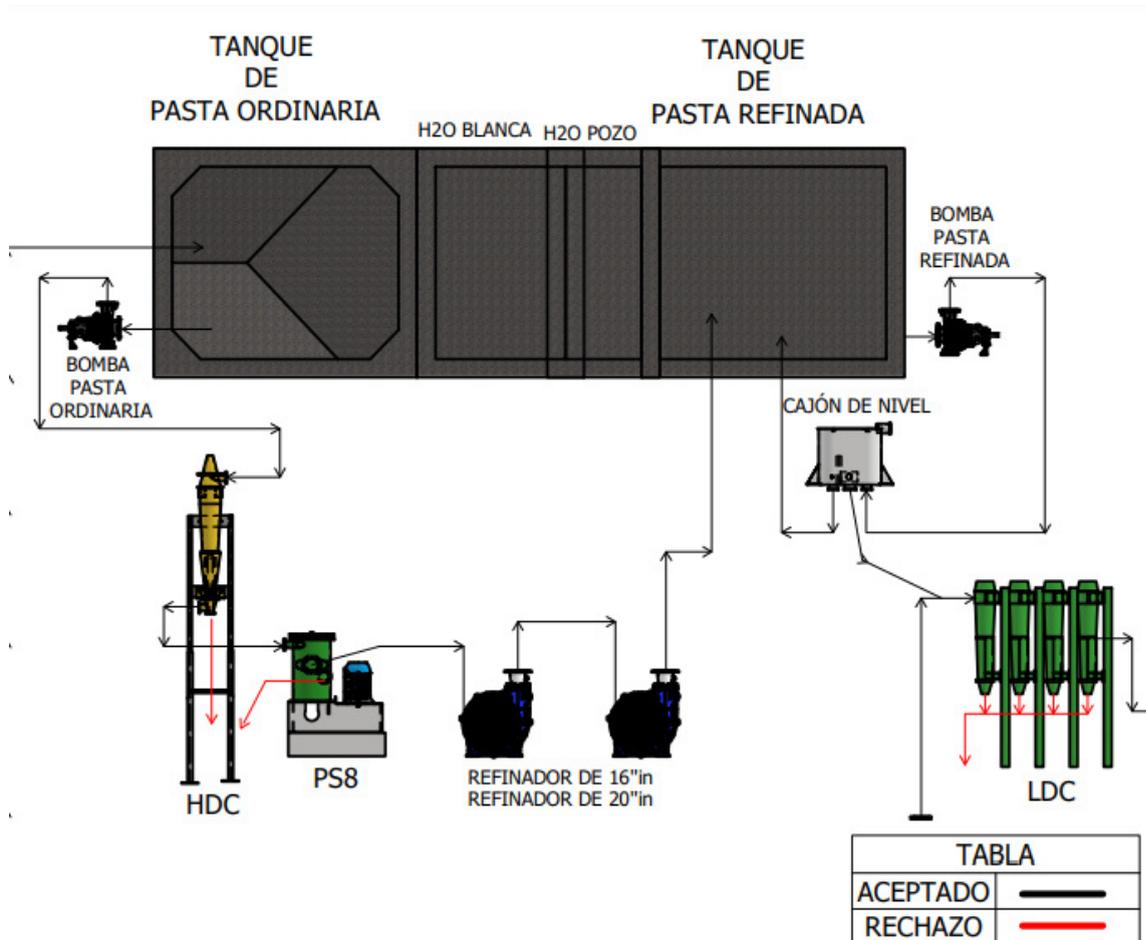
principal es eliminar impurezas no deseadas de la pulpa, como partículas de arena, tierra, pequeños fragmentos de madera y otros contaminantes que podrían afectar la calidad del papel final. El proceso de operación es el siguiente:

- Alimentación de la pulpa. La pulpa que se ha sometido previamente a procesos de desbaste y pulpeado ingresa al Limpiador de Alta Densidad a través de una tubería o conducto.
- Creación de la Suspensión de Pulpa: En el interior del Limpiador de Alta Densidad, la pulpa se mezcla con agua para crear una suspensión acuosa. Esta suspensión es esencial para que el proceso de limpieza sea eficiente.
- Generación de la Alta Densidad: Uno de los componentes clave del HDC es el cono de alta densidad. Este cono tiene una forma especial que crea una zona de alta densidad en su parte inferior debido a la centrifugación. La pulpa entra en esta zona de alta densidad.
- Separación de Impurezas: La pulpa mezclada con agua fluye hacia el cono de alta densidad, y debido a la fuerza centrífuga, las partículas más pesadas, como la arena y otros contaminantes, se mueven hacia la pared del cono. Estas partículas se acumulan en el cono y luego se eliminan a través de una válvula de descarga en la parte inferior del HDC.
- Retorno de la Pulpa Limpia. La pulpa purificada, ahora libre de las impurezas más pesadas, sale del Limpiador de Alta Densidad a través de una salida separada. Esta pulpa se considera más limpia y adecuada para su procesamiento en etapas posteriores de la fabricación de papel.
- Control del Proceso. La eficiencia del HDC se puede ajustar variando la presión y la velocidad de alimentación de la pulpa. Esto permite a los operadores controlar la cantidad de impurezas eliminadas y la calidad de la pulpa resultante.

El Limpiador de Alta Densidad es una herramienta esencial en la fabricación de papel, ya que contribuye significativamente a mejorar la calidad del producto final. La eliminación efectiva de impurezas como la arena y otros contaminantes garantiza que el papel sea uniforme, de mejor calidad y con menos posibilidades de daños en las maquinarias de fabricación de papel posteriores. Además, contribuye a mantener la eficiencia de la producción al reducir el desgaste de los equipos y minimizar interrupciones en el proceso de fabricación. En el diagrama de flujo de proceso de la planta ABSORPELSA.S.A., como se observa en la figura 1.

Figura 3

Proceso de operación del equipo HDC en el proceso de producción de papel.

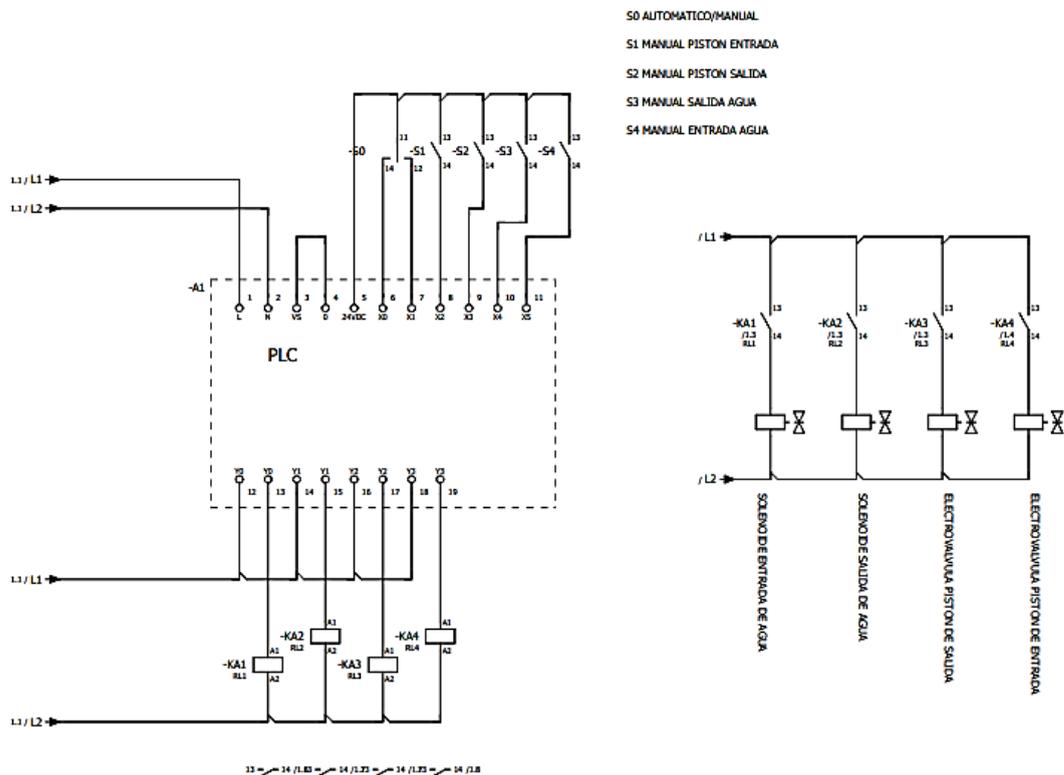


Por ello, se considera que el Limpiador de Alta Densidad es un componente crítico en el proceso de preparación de pasta en la industria papelera. Su capacidad para separar impurezas pesadas de la pulpa contribuye en gran medida a la calidad y la eficiencia de la producción de papel.

La propuesta para la automatización del limpiador se basa en un sistema de control automático basado en PLC y HMI, como se identifica en la figura 4.

Figura 4

Esquema de automatización para el limpiador de alta densidad.



a. Explicación del aporte

Para el desarrollo del proyecto, se estableció una metodología bajo los siguientes 4 aspectos:

- Diseño conceptual. Para la implementación del proyecto se requirió de la construcción de un limpiador de alta densidad, para ello, se seleccionó como material de fabricación Acero y los planos de construcción de cada componente del limpiador.
- Integración del sistema de control. Una vez construido el limpiador de alta densidad, se incorporan dos sensores de nivel para medir la cantidad de pulpa que

circula por el limpiador, para el control se utilizan válvulas electroneumáticas posicionadas en el cono del limpiador.

- Análisis y modelado. Para la operación del limpiador, se incorpora un sistema de control con PLC y la manipulación de variables con HMI. Esto permite la optimización de la formación de la solución acuosa dentro del limpiador.
- Validación y verificación. Una vez incorporado todos los componentes en el limpiador, se procedió a la comprobación de la operación del sistema implementado, para evaluar el proceso de producción de pasta de papel.

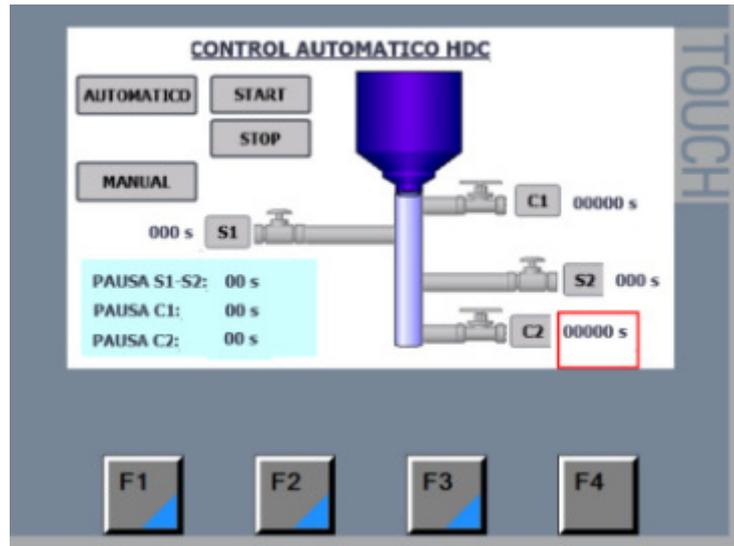
b. Estrategias y/o técnicas

El proceso de automatización del limpiador de alta densidad para el proceso de preparación pasta de la industria papelerá ABSORPELSA.S.A, corresponde a un proyecto aplicado, con un alcance explicativo, ya que se desarrolló con base a los conocimientos adquiridos en la formación de la maestría, y se detalla el proceso de automatización ejecutado para la mejora de la producción de pasta de papel.

Para la ejecución del proyecto, se utilizó la combinación del PLC y HMI, con la finalidad de mejorar la producción de pasta de papel. Los PLC brindan una robusta capacidad de control y programación, permitiendo la automatización de procesos industriales y sistemas complejos. Por otro lado, los HMI proporcionan una interfaz intuitiva y visual que facilita la supervisión y el control en tiempo real. La integración de ambos permite la aplicación hacia el proceso industrial analizado, por medio de la programación de PLC para la lógica de control y la creación de interfaces de usuario atractivas y funcionales a través de HMI. En la figura 3, se observa la interfaz del HMI.

Figura 5

HMI del limpiador de alta densidad



2.3 Validación de la propuesta

Para la validación del proyecto, se utilizó el método de criterios de especialistas, para ello, se utilizaron los siguientes criterios: formación académica relacionada con el tema investigativo, experiencia académica y/o laboral orientada a la gestión técnica y operativa de los sistemas de automatización. En la tabla 1, se detallan los perfiles de los validadores.

Tabla 1
Perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Arlés Orozco	38 años	Ing. Industrial	Coordinador de Proyectos y Mejoras.
Walter Marholz	35 años	Mg. Celulosa y Papel	Gerente General Surpapelcorp S.A. Absorpelsa S.A.
Alex Quispe	7 años	Mg. Instrumentación y Simulación	Jefe de mantenimiento Eléctrico y control.

Los objetivos perseguidos mediante la validación son los siguientes:

- Validar la metodología de trabajo aplicada en el desarrollo de la investigación.
- Aprobar los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas.
- Redefinir (si es necesario) el enfoque de los elementos desarrollados en la propuesta, considerando la experiencia de los especialistas.

- Constatar las posibilidades potenciales de aplicación del modelo de gestión propuesto.

Los criterios de evaluación, que se aplicó para la evaluación de la propuesta por parte de los validadores, se detallan en la tabla 2.

Tabla 2
Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Los resultados de la evaluación del proyecto presentado se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Escala de evaluación

Escala de evaluación. Elaborada por: *Validadores*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 4

Matriz de evaluación

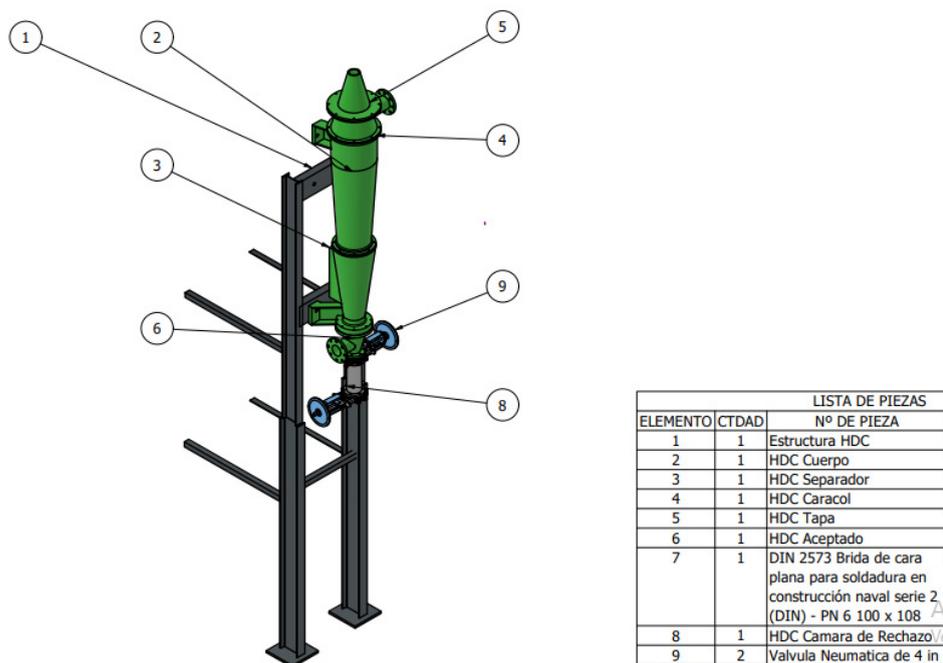
Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1 Definición: de los elementos electrónicos, de control de aplicación de programación, de comunicaciones, variables de entrada a monitorear, variables de salida a controlar, etc.	1.1. Tablas de elementos 1.2. Análisis de costos. 1.3. Tomas de decisiones en base a funcionalidades y beneficios.	Matemáticas Aplicadas Visión por Computador Machine Learning Electrónica Mecánica	Cálculos de velocidad y producción de máquina bajo gramaje aplicado. Cálculo del vórtice y delta de presión. Análisis cuantitativo de los elementos electrónicos. Investigación de campo para recolectar los datos mecánicos y eléctricos.
2 Diseño: de circuitos electrónicos, de control, aplicación, programación y elementos mecánicos.	2.1. PLC 2.2. Circuitos electrónicos de control 2.3. Interfaz HMI	Programación de PLC. Aplicaciones de diseño de circuitos electrónicos (Proteus, Isis, Ares). Autodesk Inventor. Autocad Electrical.	PLC 1200-1214 dc-dc. Tia Portal V16. Diseño del HDC en Inventor. Diseño del circuito de control en Autocad Electrical.
3 Implementación: cableado, sistemas electromecánicos, de control y programación	3.2. Control de HDC 3.3. Aplicaciones de programación 3.4 Control de motores o electroválvulas.	Instalaciones eléctricas industriales y mecánicas. Sistemas de comunicaciones. Desarrollo HMI. Instalaciones mecánicas.	Montaje del HDC bajo planos de diseño mecánico y del proceso. Conexión física de los contactores y elementos del tablero y de los sensores. Conexión TCP/IP con la pantalla HMI, el PLC y a la Intranet.

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

2.5.1 Limpiador de alta densidad

Para la implementación de los sistemas de control, se da inicio con la construcción del equipo limpiador de alta densidad de la preparación de pasta de papel, debido a que el sistema inicial no era compatible con los cambios a implementarse. Para la incorporación de los sistemas de control y manipulación de operación, se diseña el equipo HDC. Los componentes del HDC se detallan en el anexo A.

Figura 6
Componentes del limpiador de alta densidad



Con base a los planos del HDC, se construye el sistema mecánico para la preparación de pasta con base a la solución acuosa formada en el interior del limpiador. En la figura 7, se muestra el equipo HDC instalado en la planta de papel.

Figura 1

Equipo HDC construido e instalado en la planta



2.5.2 Elementos de control y manipulación de información

Los elementos del sistema de control y la interfaz de comunicación, se detallan en la tabla 5, así como los costos de cada elemento.

Tabla 5

Componentes HDC y costos

#	Área	Componentes	Cant.	Costo Unitario	Costo total
1	Eléctrico/ Electrónico	Sensor de nivel 1	1	\$120	\$120
2		Sensor de nivel 2	2	\$200	\$400
3	Neumática/ Electroneumática	Unidad de mantenimiento	1	\$120	\$120
4		Cilindro neumático doble efecto DNC-40-80-PPV-A FESTO – 163340	2	\$293	\$586
5		Electroválvula de 1 in Solenoide. 2 vías 2 posiciones 2w160-15	2	\$100	\$200

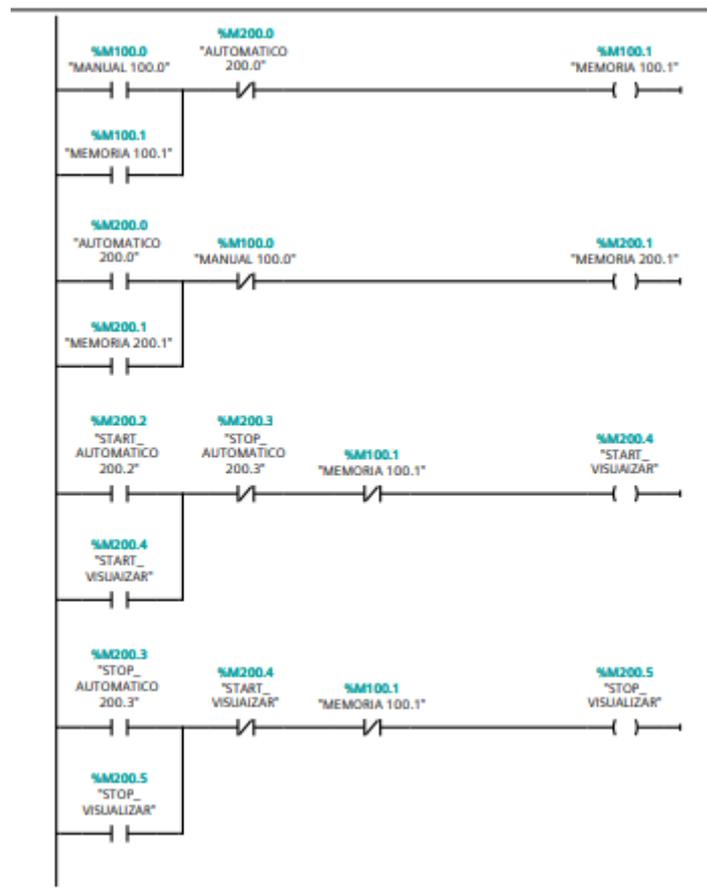
6	Eléctrico	Cables eléctricos, bornera, cable de comunicación, canaletas, otros componentes eléctricos, mangueras, acoples, uniones)	1	\$300	\$300
7	Control	Tarjeta de Adquisición de datos	1	\$550	\$550
8		PLC 1200 Siemens DC-DC	1	\$900	\$900
9		Pantalla HMI de 4 in KTp400	1	\$750	\$750

2.5.3 Control PLC y HMI

Para la operación del limpiador de alta densidad se establece el control por medio del PLC 1200 Siemens DC-DC. Para la programación del PLC, se utilizó el código de bloques con la finalidad de controlar la circulación de la pasta logrando regular el gramaje correspondiente. En la figura 8, se muestra una parte de la codificación aplicada. En el anexo B, se muestra la codificación completa.

Figura 8

Código de bloque para el control de la operación del HDC



La instalación del sistema de control con PLC y HMI, se muestran en las figuras 9 y 10. El sistema opera acorde a la programación de código de bloques para la operación de las electroválvulas con base en la información entregada por los sensores de nivel.

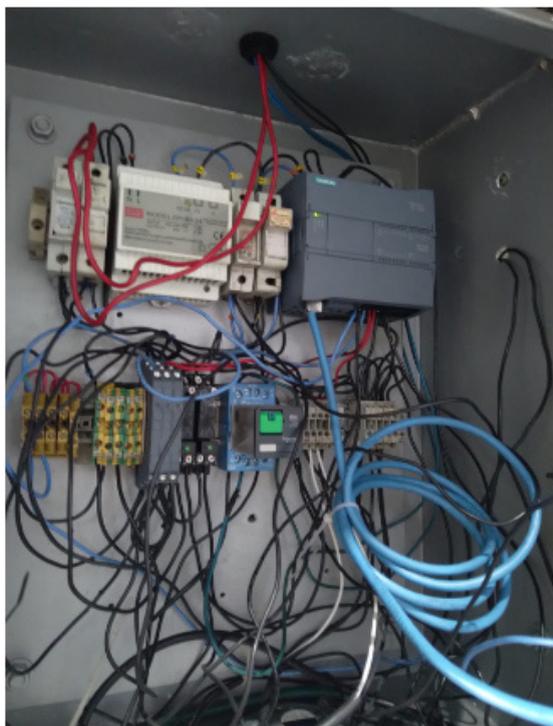
Figura 9

Operación HMI instalado en el HDC



Figura 10

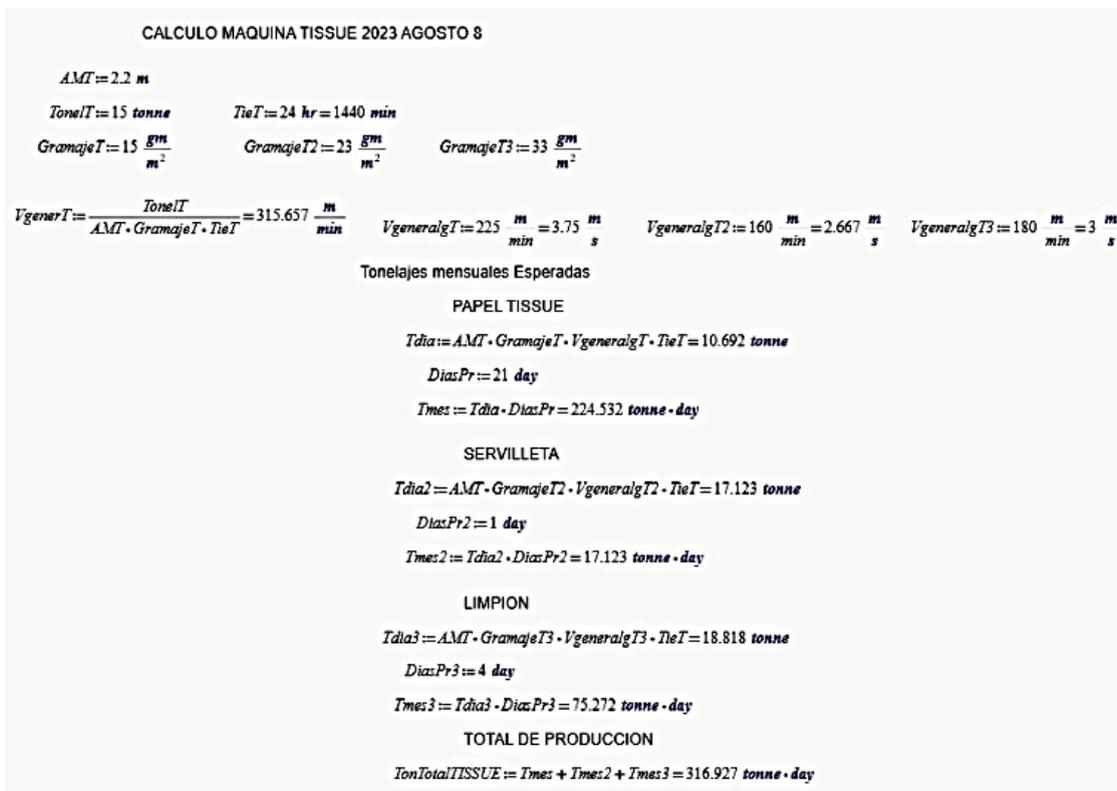
Sistema de control con PLC instalado en el HDC



2.5.4 Producción de papel

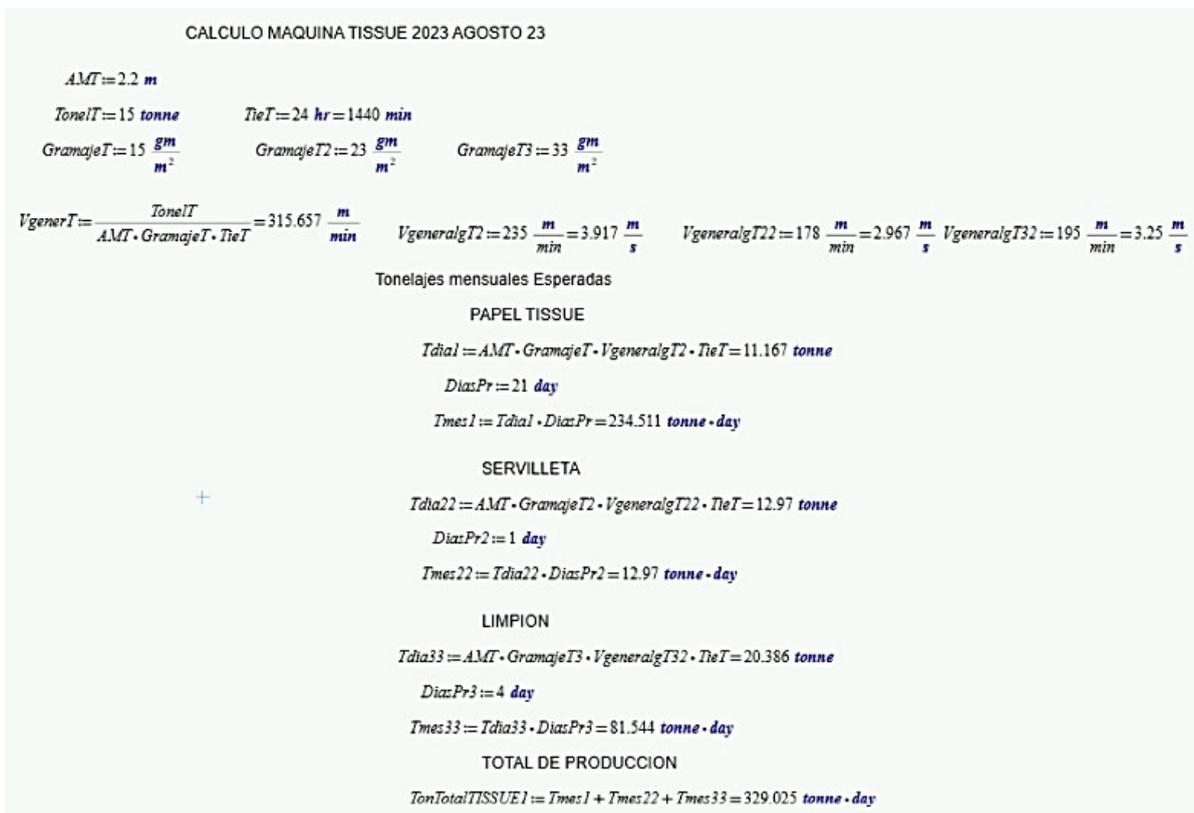
La planta de producción ABSORPELSA.S. A, antes de la modificación, producía un total de 316, 9 toneladas métricas. En la figura 11, se detalla el cálculo de producción en agosto, estableciéndose el total de producción del papel, antes de la implementación del HDC en el proceso de la preparación de la pasta de papel.

Figura 11
Cálculo de producción antes de la implementación.



Con las modificaciones implementadas tanto en el proceso de producción como el sistema de control en la preparación de la pasta de papel, como se observa en la figura 6, se establece como el total de producción de 329, 02 toneladas métricas. Dados los cambios implementados se obtiene un aumento de producción en razón a la mejora de la preparación de la pasta de papel con una mejora de 12,3 toneladas métricas de producción. El costo de producción de cada tonelada corresponde a 1600 dólares, esto implica un aumento de ingresos de 19680 dólares.

Figura 12
Cálculo de producción después de la implementación



El sistema de control instalado en el HDC, ha favorecido el aumento de la producción de papel en un 3 % diario.

Parámetros de Máquina Tissue.

21/05/2023	Presión	Hz Motor	Altura cm	15/09/2023	Presión psi	Hz Motor	Altura cm
HDC	0	0		HDC	0	0	
PS8	0	0		PS8	0	0	
Refinador 1	12 psi	65 Hz/700 rpm		Refinador 1	15 psi	42 Hz/700rp m	
Refinador 2	10 psi	50Hz/750 rpm		Refinador 2	10 psi	30Hz/750 rpm	
Stuck Box			200 cm	Stuck Box			300 cm
Bomba Fan		63Hz/190 0 rpm		Bomba Fan		48Hz/145 0Rpm	
Beloit	9 psi			Beloit	14 psi		
Caja de Formación			60 cm	Caja de Formación			80 cm
Malla de Formación	-	45Hz/134 0 rpm	-	Malla de Formación		40 Hz/1440 rpm	
Fieltro	-	45Hz/104 0 rpm		Fieltro		55Hz/117 0 rpm	
Yankee		50Hz/960 rpm		Yankee		58 Hz/1180 rpm	
Pope		30Hz/960 rpm		Pope		40Hz/117 0 rpm	

CONCLUSIONES

Las conclusiones del proyecto son las siguientes:

- La automatización del sistema de control del HDC consigue sacar grasas y sólidos pesados del sistema significativamente permitiendo que la pulpa fluya por el vórtice de una manera eficaz aumentando la succión de la bomba por el diferencial de presión logrando que la pulpa pase al PS8 y a los refinadores con eficacia, causando que la bomba fan succione la pasta con una carga inferior (63 Hz -1900 rpm a 48 Hz-1450 rpm) permitiendo el aumento del bombeo.
- A partir de los parámetros obtenidos en el HDC ,se observa una mejora del 20% en la bomba FAN, mejorando la altura de la caja de formación de (60 a 80 cm), estos parámetros son consecuencia del correcto funcionamiento del HDC, influye considerablemente en el proceso de formación de pasta, causando que la velocidad general de la máquina tenga un aumento significativo obteniendo una mejora de velocidad del 0.8% , reflejando un aumento de producción de 12 toneladas métricas promedio mensuales.
- Con la implementación del interfaz usuario HMI en el tablero de control del HDC, el usuario es capaz de visualizar el estado del equipo de limpieza, además, el HMI permite al usuario manipular a través de la pantalla la apertura y cierre de las compuertas que son accionadas por los pistones neumáticos, además, puede controlar el accionamiento de la dilución y el desecho del PS8 si las condiciones así lo ameriten para retirar el desperdicio de los equipos.
- La implementación del sistema de limpieza automático (HDC), causa una mejora significativa en todo el proceso, se observa disminución de taponamiento en la malla causado por el retiro eficiente de sólidos pesados en la pulpa de papel, reflejando una disminución de tiempos perdidos de 10 minutos por día .

RECOMENDACIONES

- Realizar la capacitación al personal de producción encargado de la operación de la Máquina Tissue para el correcto funcionamiento del automatismo implementado.
- Crear un protocolo de mantenimiento correctivo adquiriendo actuadores y sensores para reemplazo instantáneo en caso de daños severos en los dispositivos y equipos antes mencionados, debido a la cantidad de humedad y pasta que se encuentra en la planta Tissue.
- Tener respaldos de las configuraciones realizadas en el PLC y HMI para posteriores cambios de parámetros o crecimiento del proceso de la máquina Tissue.
- Generar Manuales de operación y mantenimiento del equipo, con la finalidad de evitar fallos mecánicos o eléctricos del equipo.
- Tener el equipo eléctrico y electrónico libre de pasta, ya que el sistema de automatización debe trabajar 24/7, sin ningún tipo de falla.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, M. (2015). *Gestión por procesos y mejora continua, puntos clave para la satisfacción del cliente*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Budynas, R., & Keith, J. (2010). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shirley*. México: McGraw- Hill.
- Chen, Q., & Wang, L. (2020). Advanced Process Control of High-Density Cleaners in Pulp and Paper Mills. . *Journal of Process Control*, 567-580.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México DF: McGraw-Hill. Obtenido de https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2015). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- López, J. (2023). *Control automático de nivel del separador de gas de planta productora Shushufindi*. Quito: Repositorio digital Universidad Israel. Obtenido de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3511>
- Muñoz, E. (2022). *Control automático de temperaturas del motor de combustión interna de un generador en la Termoeléctrica de Santa Elena*. Quito: Repositorio digital Universidad Israel. Obtenido de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3330>
- Oñate, J. (2022). *Automatización del sistema de corte de laminado para la empresa NOVACERO*. Quito: Repositorio digital Universidad Israel. Obtenido de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3387>
- Villavicencio, S. (2023). *Automatización del proceso de elaboración de yogurt en "Lácteos Artesano" con integración a un sistema SCADA*. Quito: Repositorio Digital Universidad Israel. Obtenido de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3513>

ANEXOS

ANEXO 1

Datasheet PLC 1200

SIEMENS

SIMATIC

S7 Controlador programable S7-1200

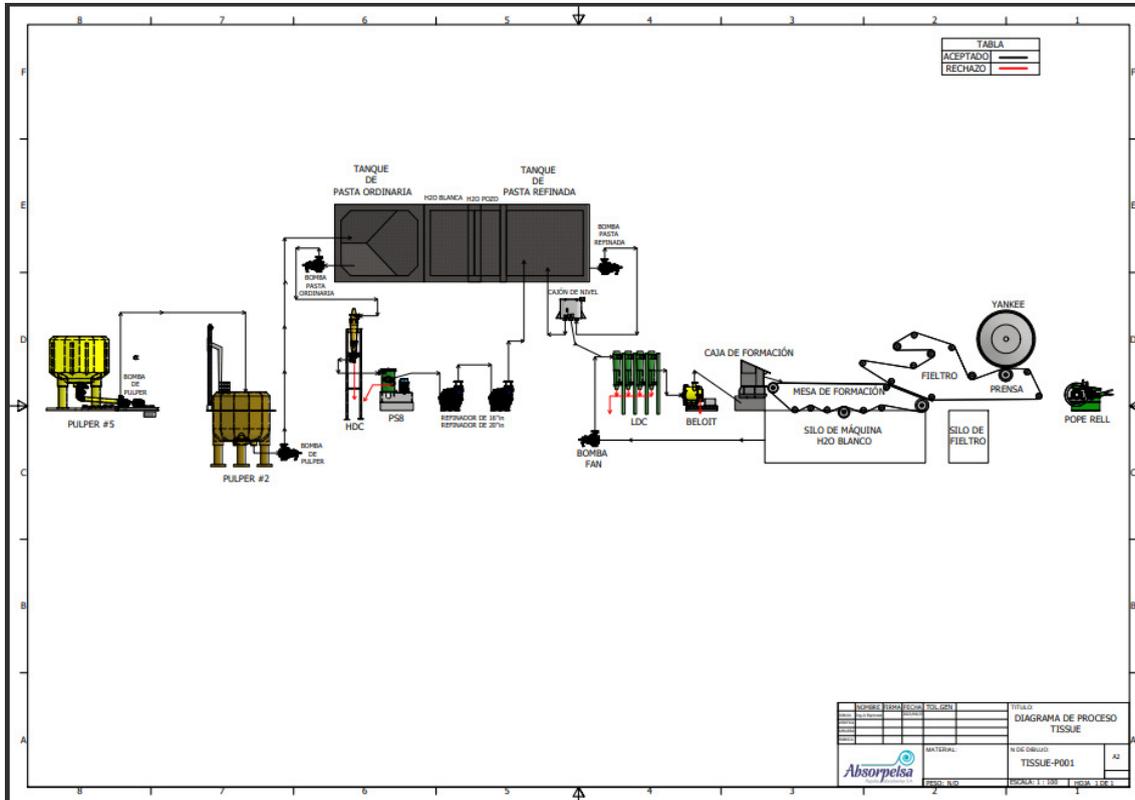
Manual de sistema

Prólogo	
Sinopsis del producto	1
Nuevas funciones	2
Software de programación STEP 7	3
Montaje	4
Principios básicos del PLC	5
Configuración de dispositivos	6
Principios básicos de programación	7
Instrucciones básicas	8
Instrucciones avanzadas	9
Instrucciones tecnológicas	10
Comunicación	11
Servidor web	12
Procesador de comunicaciones y Modbus TCP	13
Comunicación TeleService (correo electrónico SMTP)	14
Herramientas online y diagnóstico	15
Datos técnicos	A
Calcular la corriente necesaria	B
Información de pedido	C
Cambio de dispositivo y compatibilidad de los repuestos	D

V4.2.3, 08/2018
A5E02486683-AL

ANEXO 2

PLANOS DE PROCESO



ANEXO 3

CÓDIGO DE BLOQUES PLC

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Tissue.HDC / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties							
General							
Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

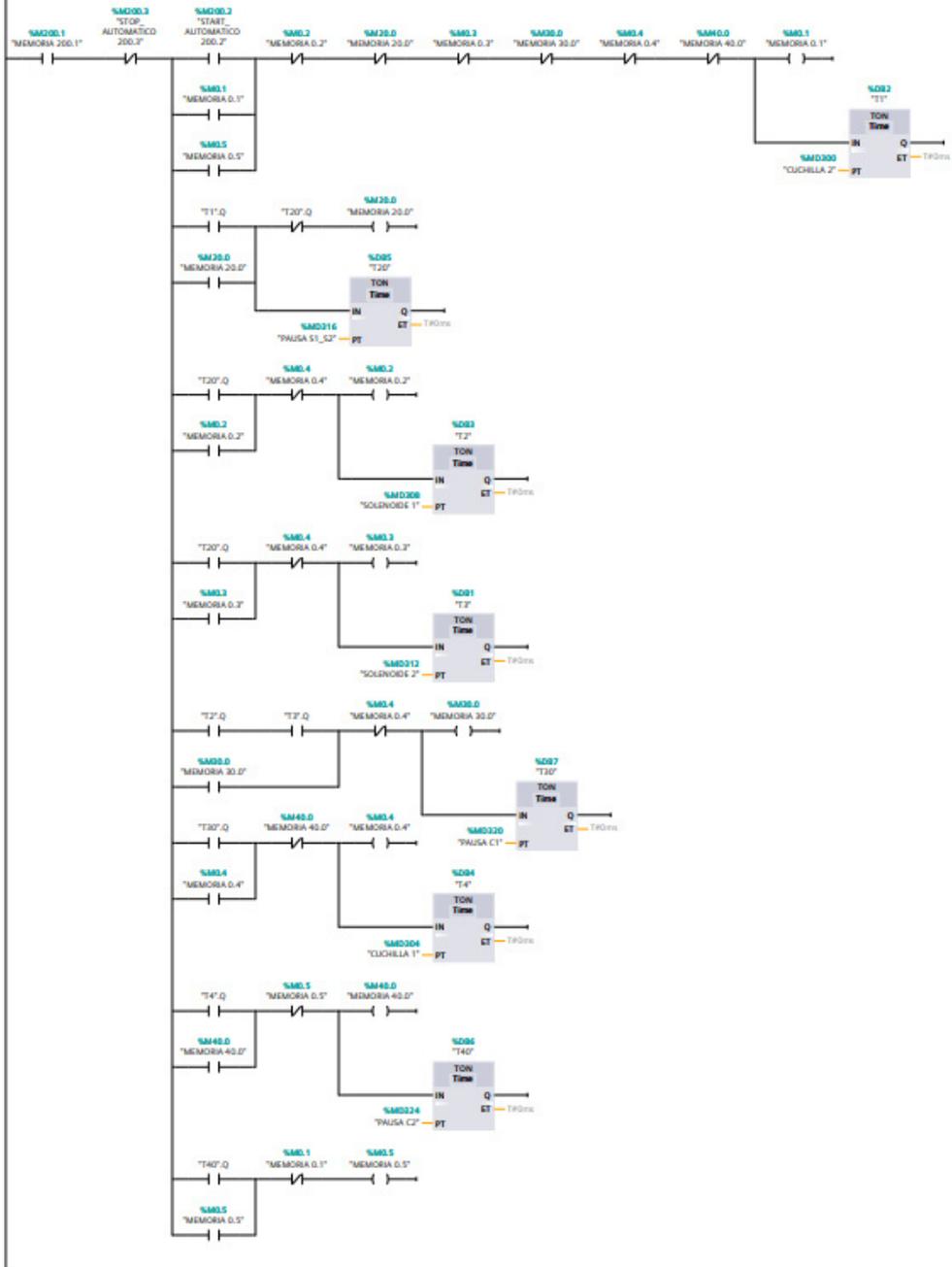
Main			
Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		-True, if remanent data are available
Temp			
Constant			

Network 1: MANUAL - AUTOMATICO

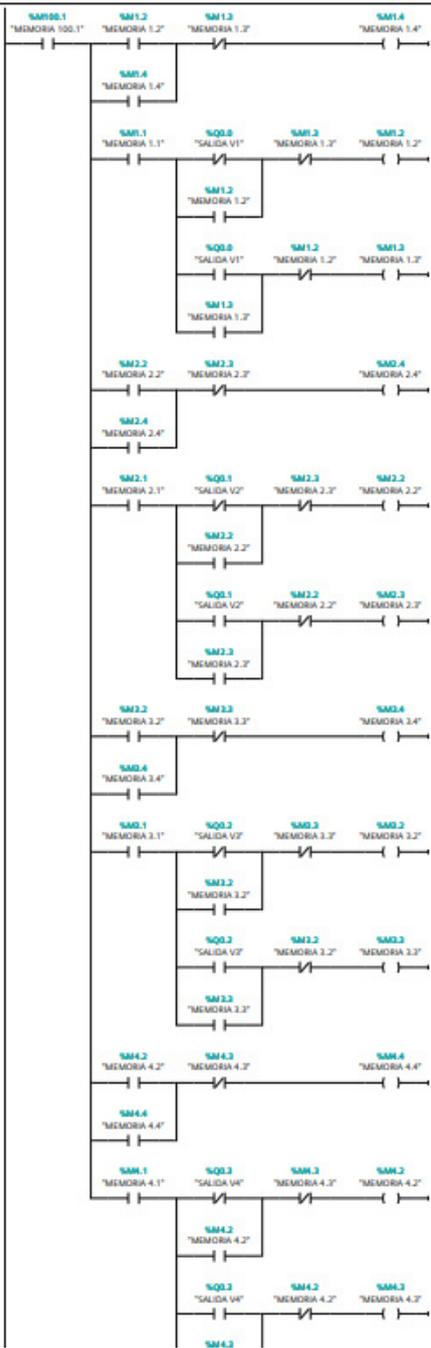
```

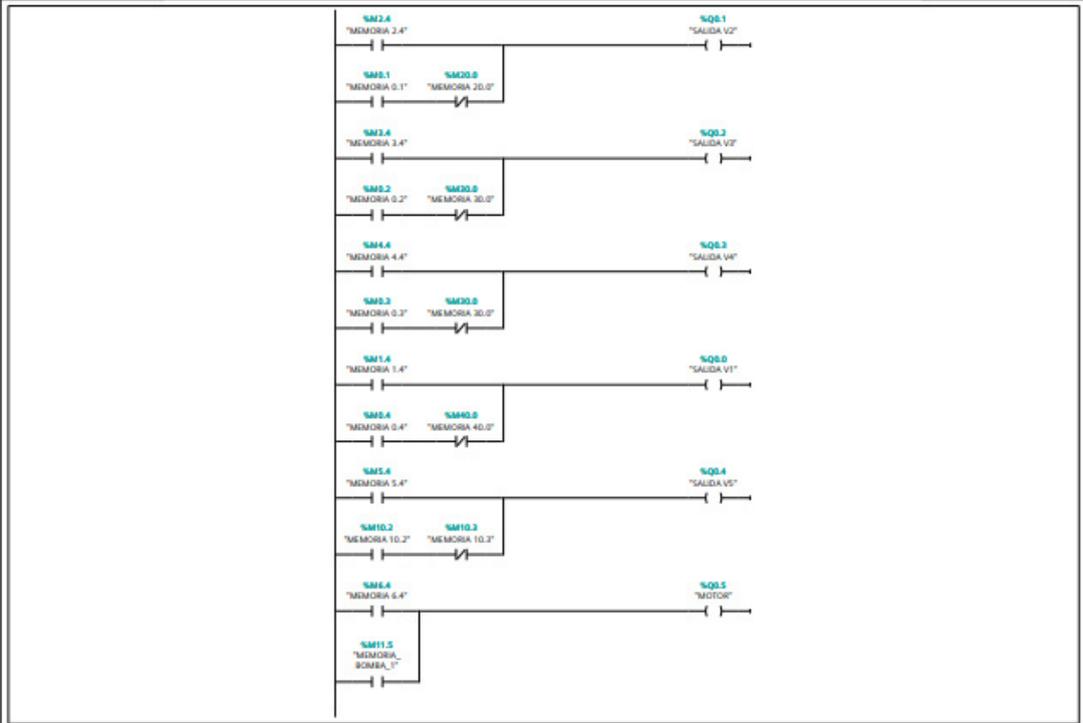
graph TD
    subgraph Rung1
        M100_0[M100.0] --- M00_0[M00.0]
        M100_0 --- M100_1[M100.1]
    end
    subgraph Rung2
        M200_0[M200.0] --- M100_0[M100.0]
        M200_0 --- M200_1[M200.1]
    end
    subgraph Rung3
        M200_3[M200.3] --- M00_3[M00.3]
        M200_3 --- M100_1[M100.1]
        M200_3 --- M200_4[M200.4]
    end
    subgraph Rung4
        M200_3[M200.3] --- M00_4[M00.4]
        M200_3 --- M100_1[M100.1]
        M200_3 --- M200_5[M200.5]
    end
    subgraph Rung5
        M200_5[M200.5] --- M200_4[M200.4]
    end
    
```

Network 2: AUTOMATICO

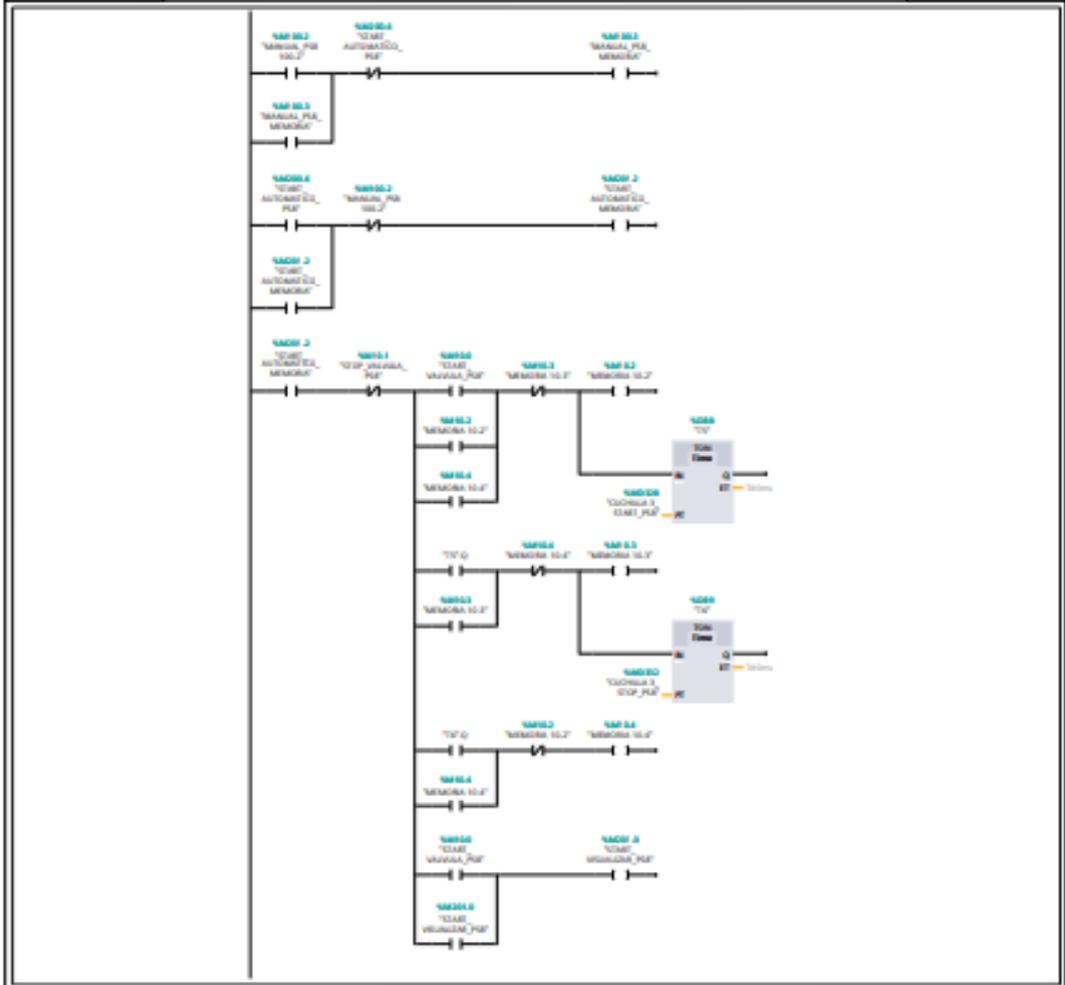


Network 3: MANUAL VALVULAS

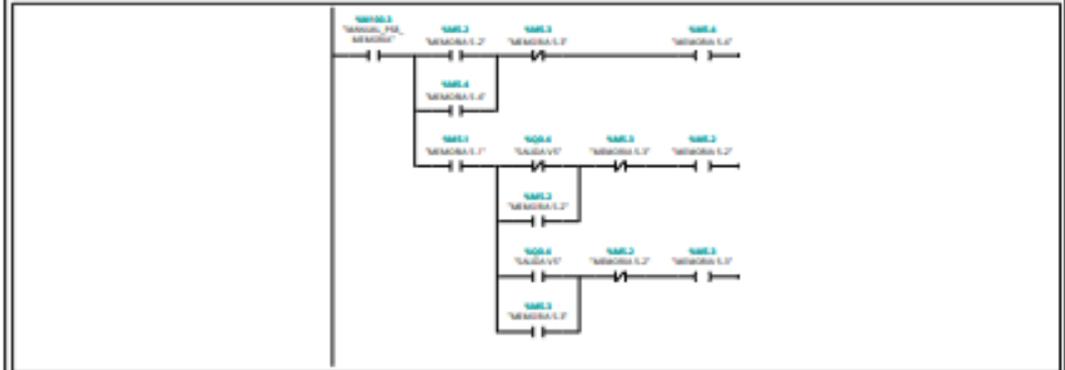




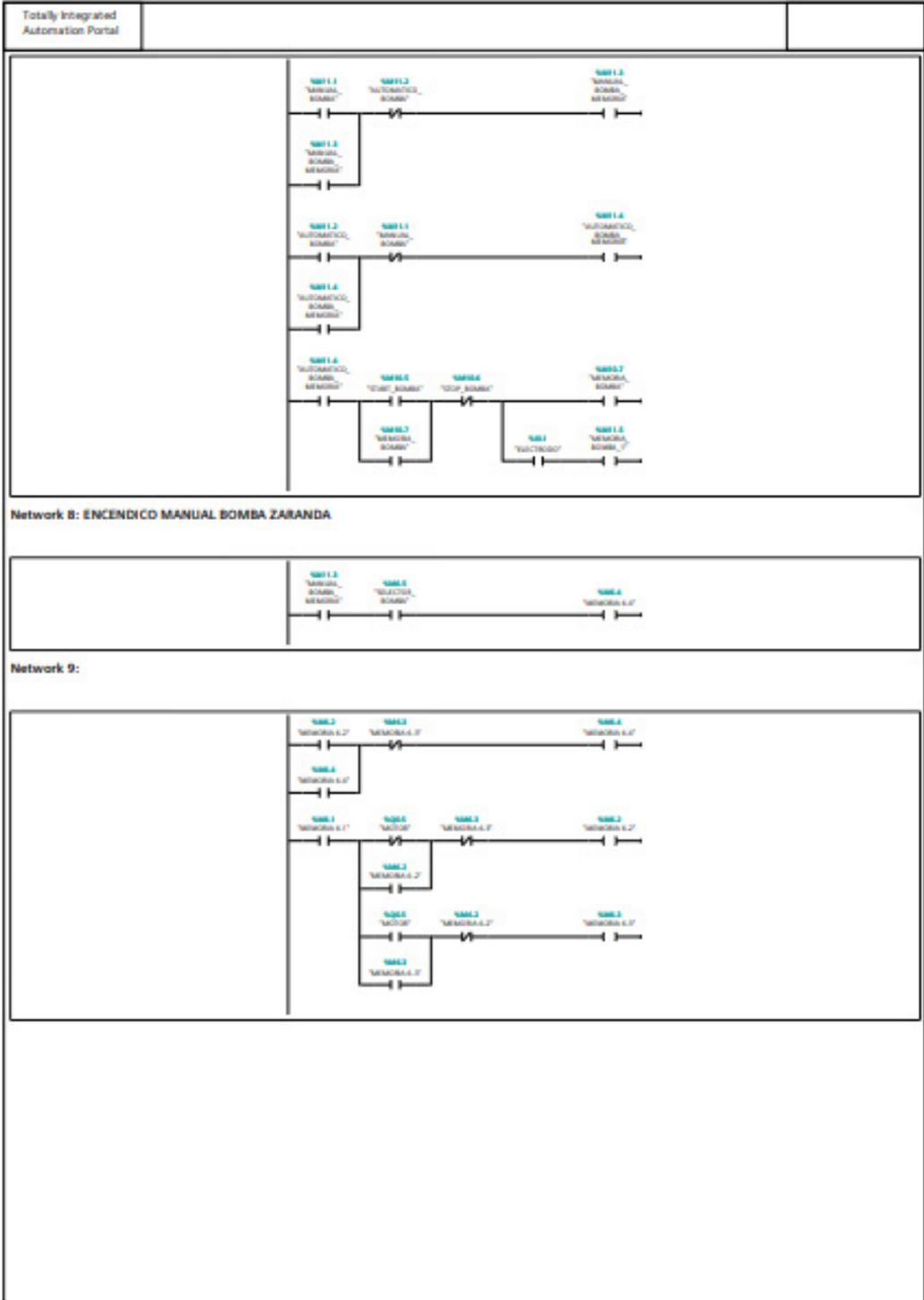
Network 5: AUTOMATICO VALVULA DEL PS8



Network 6: MANUAL VALVULA P58

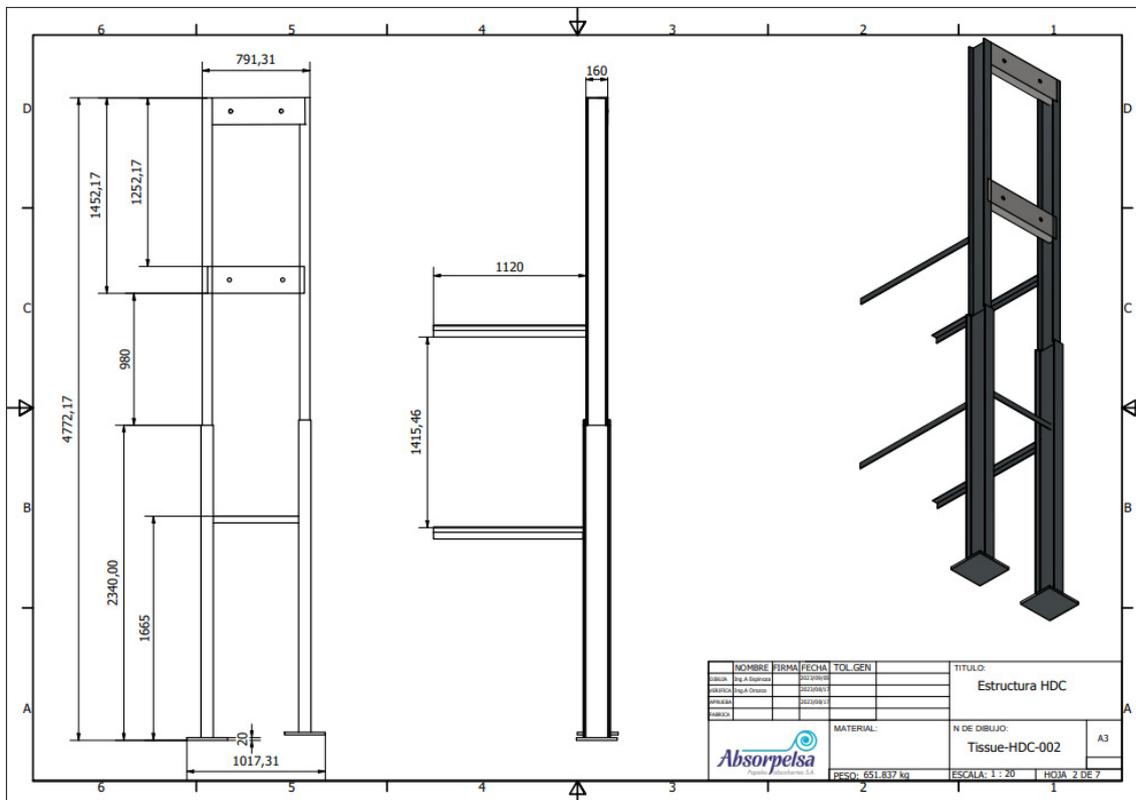
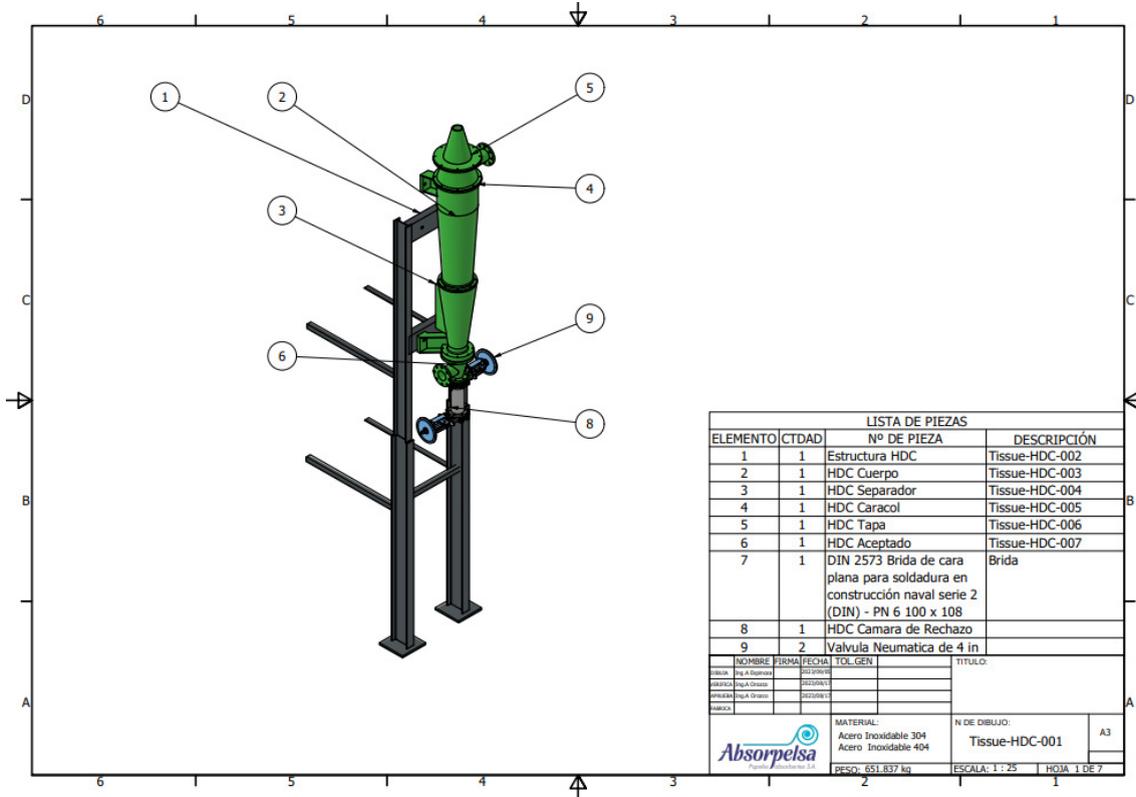


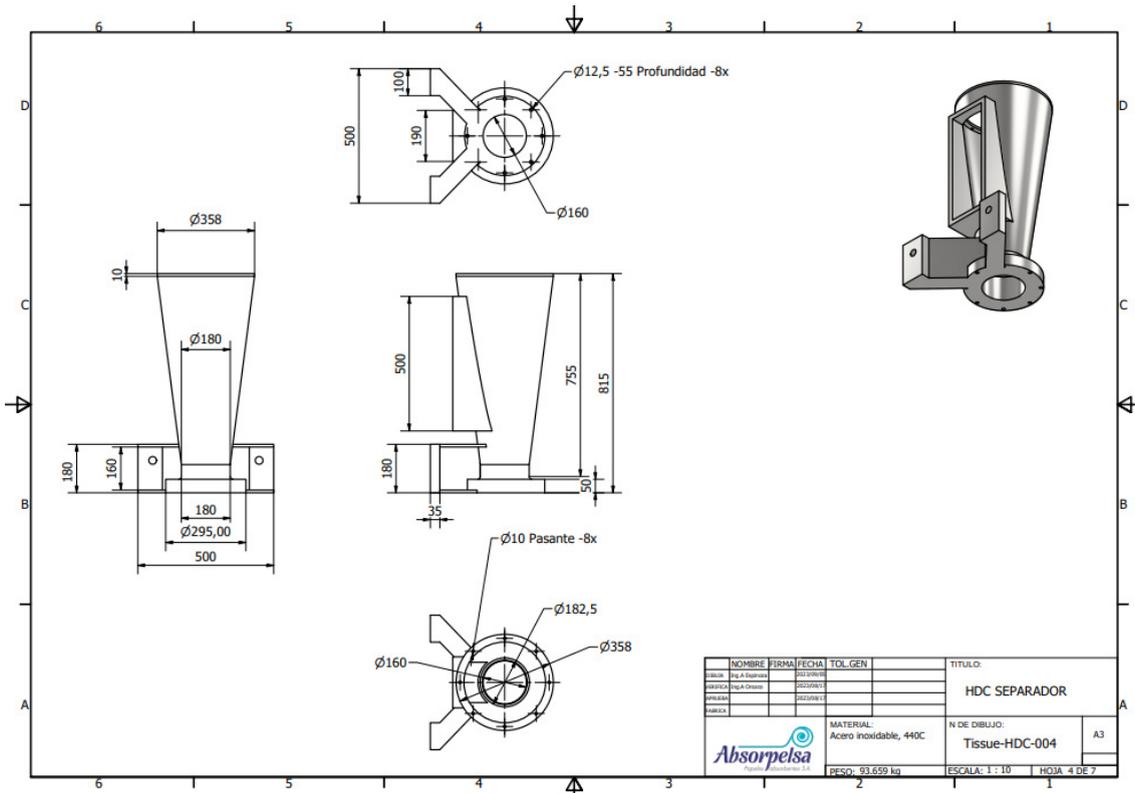
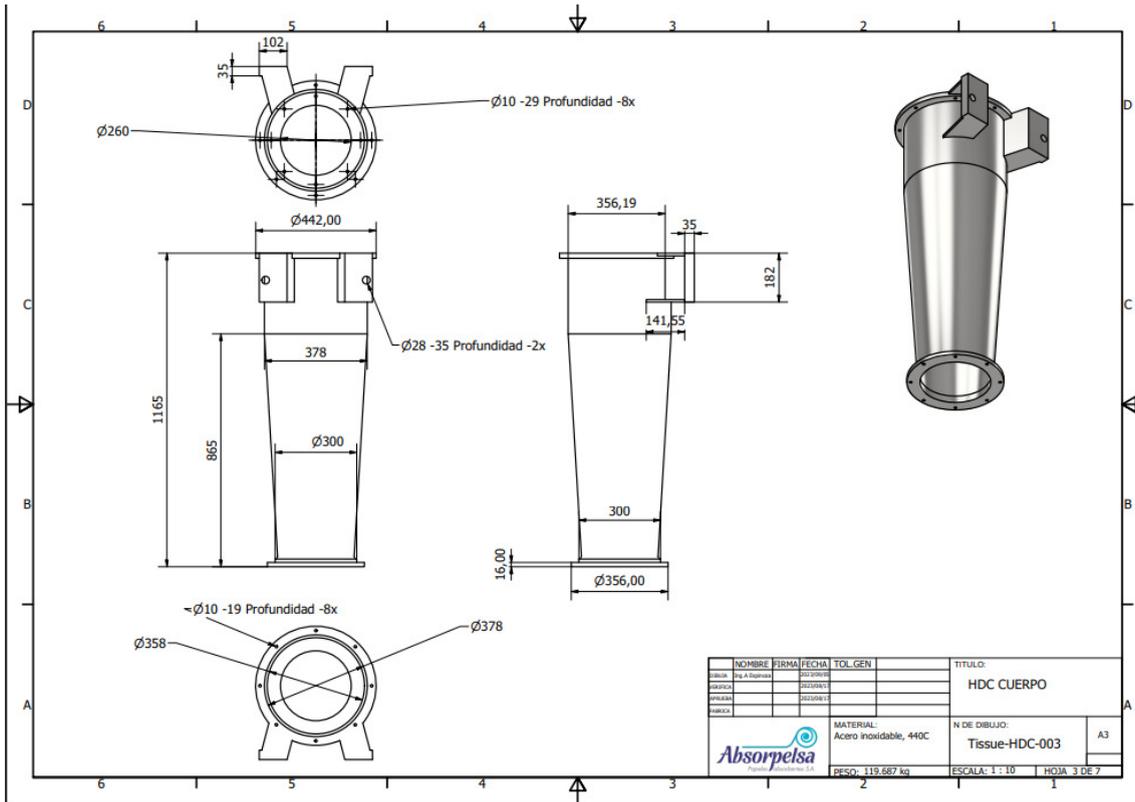
Network 7: ENCENDIDO AUTOMATICO BOMBA ZARANDA VERDE

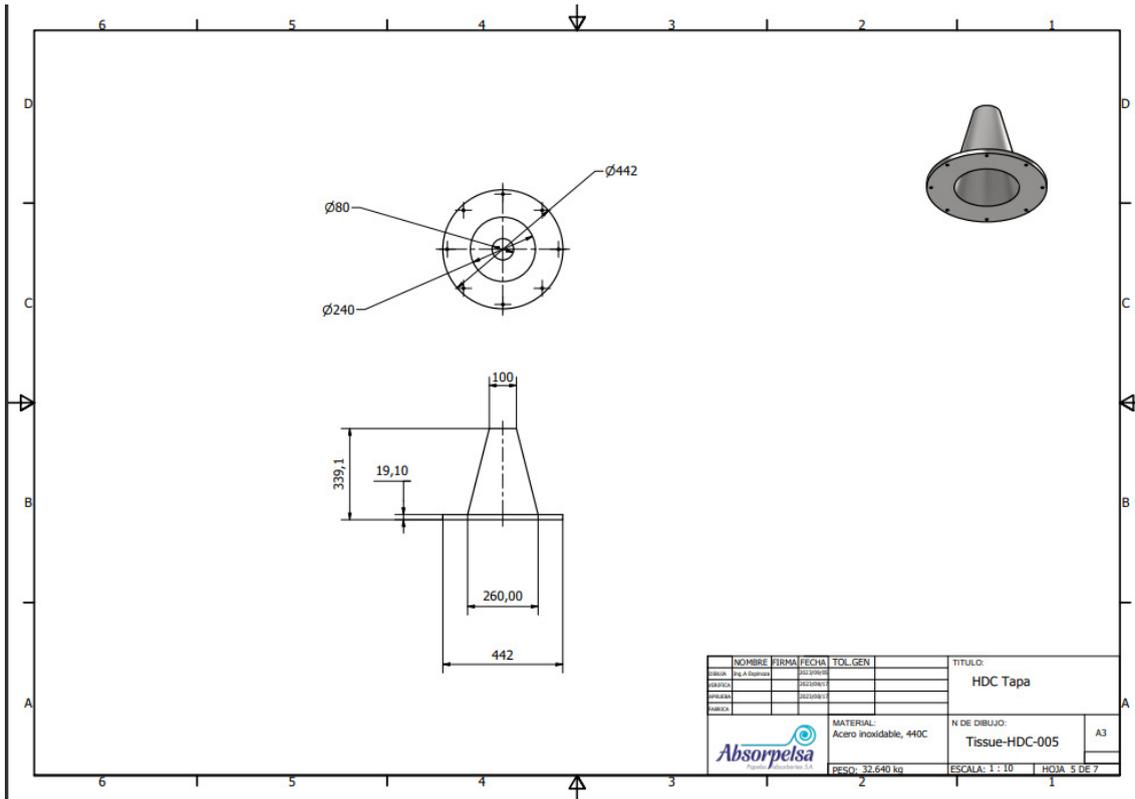


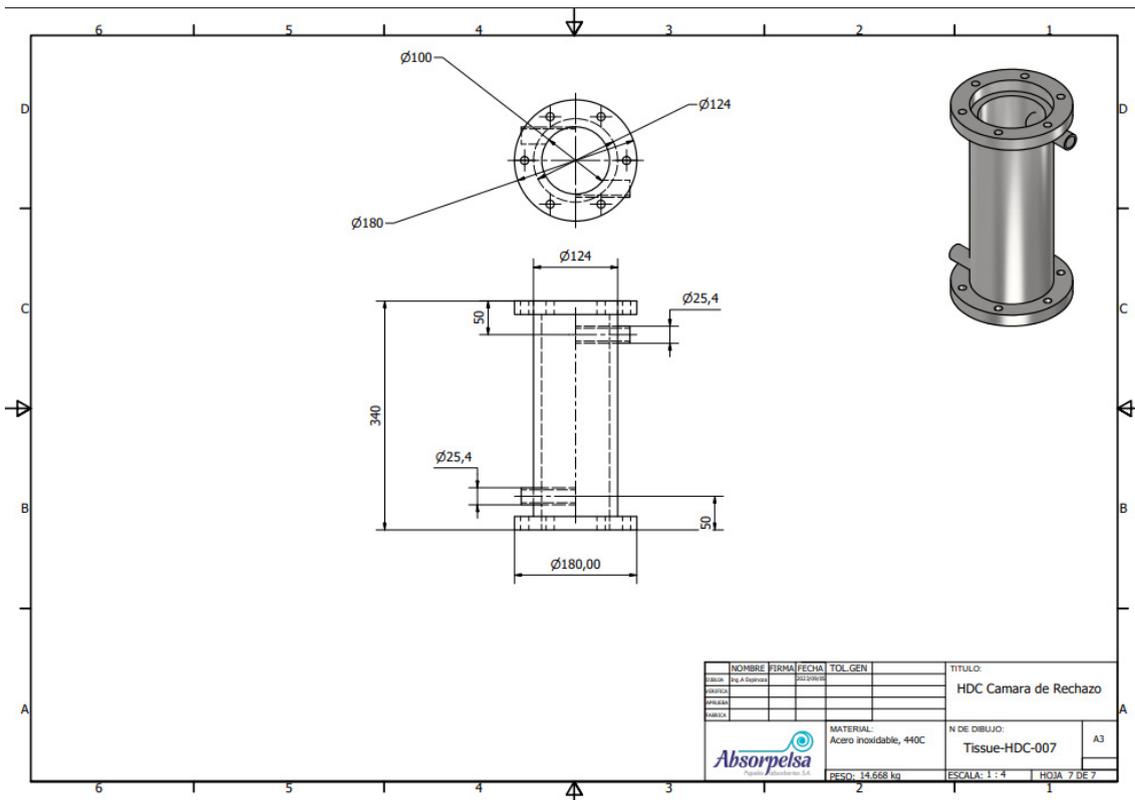
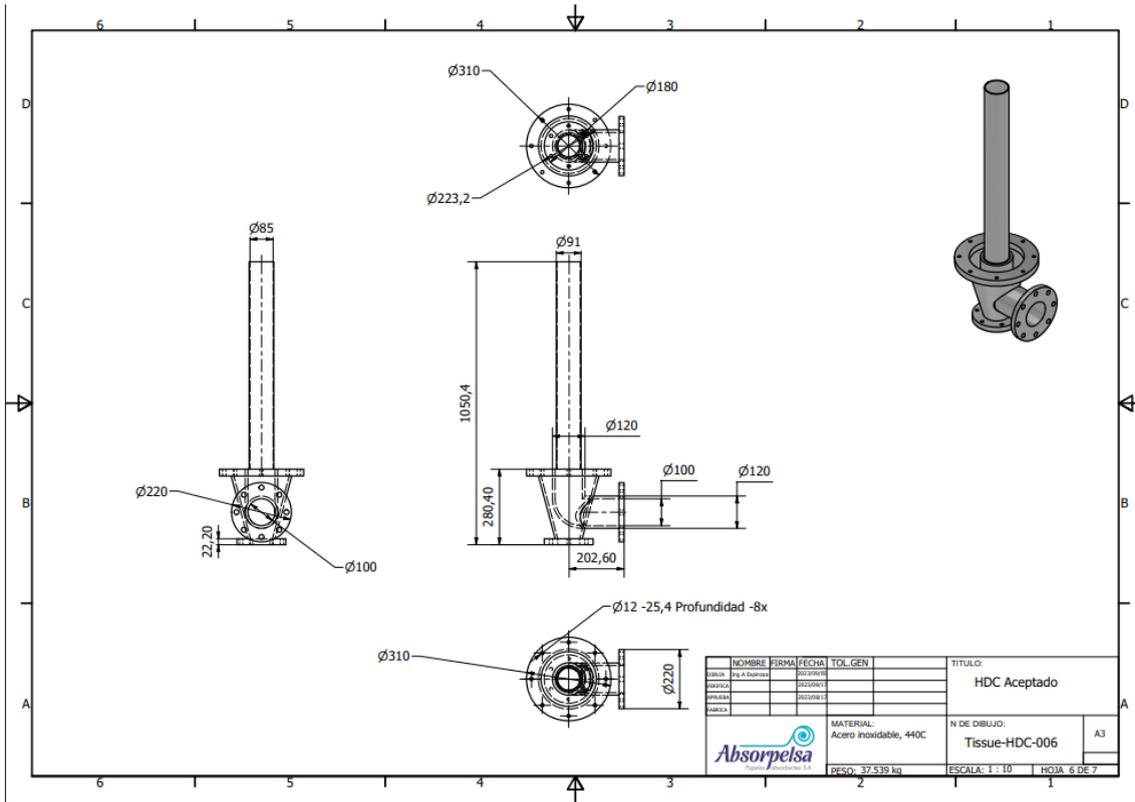
ANEXO 4

PLANOS DE LIMPIADOR DE ALTA DENSIDAD









ANEXO 5

CÁLCULOS DE VELOCIDAD,

Cálculos de Vórtice, bombas del proceso, consistencia, velocidad.

Cálculo de tonelajes para máquinas papeleiras

$$ConsistenciaRequerida = 3 \frac{gm}{m^2}$$

$$Toneladas\ que\ se\ producen = 45 \frac{tonne}{day}$$

$$Eficiencia\ equipos = 1 + 1 - 80\% = 1.2$$

$$Rechazo\ equipos = 1 + 30\% = 1.3$$

$$Tn\ Produccion\ necesaria = \frac{Toneladas\ que\ se\ producen \cdot Eficiencia\ equipos \cdot Rechazo\ equipos}{ConsistenciaRequerida} = 70.2 \frac{tonne}{day}$$

$$Bombas\ necesarias = \frac{Tn\ Produccion\ necesaria}{ConsistenciaRequerida} = (4.293 \cdot 10^4) gm$$

Bomba Stock = 3000 gpm

$$Tn\ Produce = \frac{Bomba\ Stock \cdot ConsistenciaRequerida}{100} = 54.078 \frac{ton}{day}$$

$$ConsI = 0.1834 gpm$$

$$Consistencia = 0.3$$

$$Tnd = 45$$

$$Gpm = \frac{ConsI \cdot Tnd}{Consistencia} = (2.751 \cdot 10^4) gpm$$

Bomba FAN Tissue Cálculos

$$TonApro = 45$$

$$facI = 69.44$$

$$const = 0.3$$

$$Res = \frac{TonApro \cdot facI}{const} = 1.042 \cdot 10^4$$

$$ResGAL = \frac{Res}{3.78} = 2.756 \cdot 10^4$$

Retención

$$Retencion = 0.86$$

$$ResI = \frac{Res}{Retencion} = 1.211 \cdot 10^4$$

$$ResGALI = \frac{ResI}{3.78} = 3.204 \cdot 10^4$$

Eficiencia Bomba

$$Eficiencia\ Bomba = 0.6$$

$$Res2 = \frac{ResI}{Eficiencia\ Bomba} = 2.019 \cdot 10^4$$

$$ResGAL2 = \frac{Res2}{3.78} = 5.34 \cdot 10^4$$

Eficiencia Eléctrica

$$Eficiencia\ Eléctrica = 0.98$$

$$Res3 = \frac{Res2}{Eficiencia\ Eléctrica} = 2.06 \cdot 10^4$$

$$ResGAL3 = \frac{Res3}{3.78} = 5.449 \cdot 10^4$$

Pérdida de equipos de limpieza

$$perdida\ equipos\ all = 0.8$$

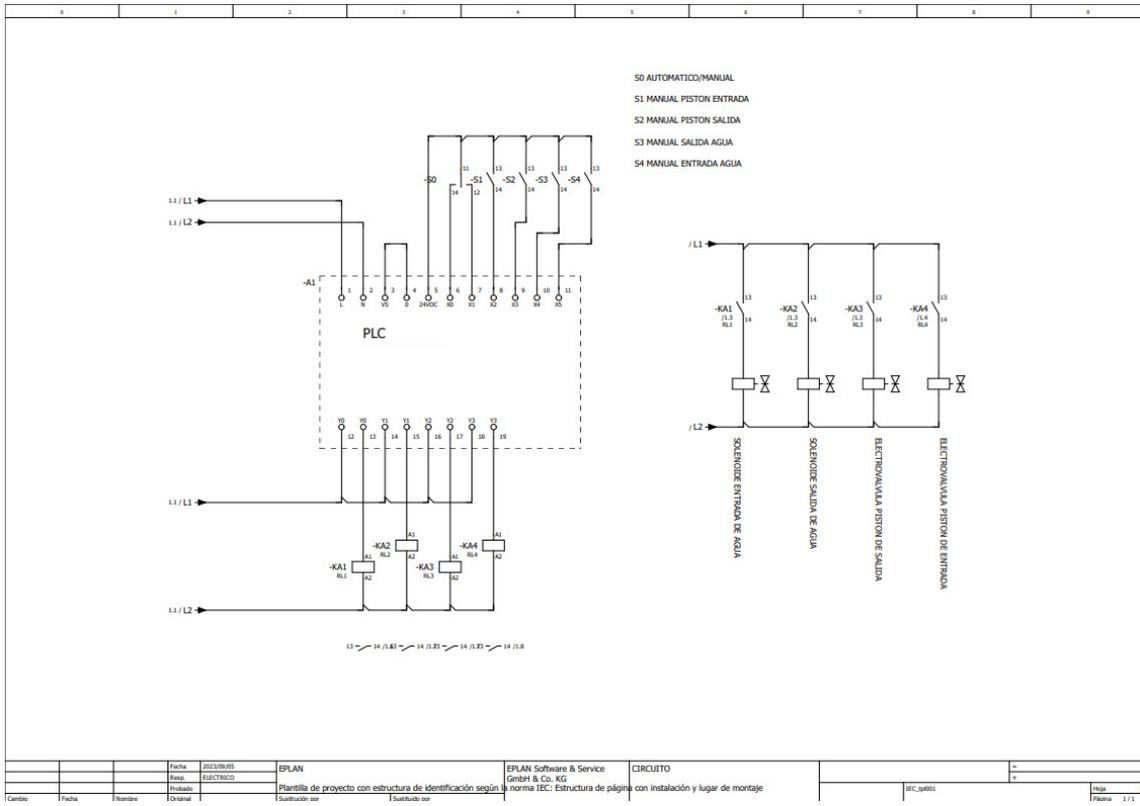
$$Res4 = \frac{Res3}{perdida\ equipos\ all} = 2.575 \cdot 10^4$$

$$ResGAL4 = \frac{Res4}{3.78} = 6.812 \cdot 10^4$$

$$perdida\ heliot = 0.8$$

ANEXO 6

DIAGRAMA UNIFILAR.



ANEXO 7

COSTOS APROBADOS POR LA EMPRESA ABSORPELSA.

Costos de Automatizacion de HDC Absorpelsa.					
Item	Tipo	Componentes	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Mecánico	Soportes para sensores planchas de 1/4 in	3	\$30.00	\$90.00
2		Soporte para unidad de mantenimiento planchas de 5/8in	1	\$40.00	\$40.00
3		Diseño de estructura HDC	1	\$500.00	\$500.00
4		Soporte para control y componentes	1	\$105.00	\$105.00
5		Diseño de tubería	1	\$300.00	\$300.00
6		Tubería de acero Negro 12 metros	2	\$900.00	\$1,800.00
7		Tubería de acero Inoxidable 6 metros	2	\$1,200.00	\$2,400.00
8		Fabricacion de camara de Dilusion	1	\$800.00	\$800.00
6	Neumática/Eléctrico/ electrónico/ neumática	Sensor de nivel 1	1	\$120.00	\$120.00
7		Sensor de nivel 2	2	\$200.00	\$400.00
8		Unidad de mantenimiento	1	\$120.00	\$120.00
9		Cilindro neumático doble efecto DNC-40-80-PPV-A FESTO -	2	\$293.00	\$586.00
10		Electrovalvula de 1 in Solenoide. 2 vias 2 posiciones 2w160-15	2	\$100.00	\$200.00
11	Eléctrico	Cables eléctricos, bornera, cable de comunicación, canaletas, otros componentes eléctricos, mangueras, acoples, uniones)	1	\$300.00	\$300.00
12	Control	Tarjeta de Adquisición de datos	1	\$550.00	\$550.00
		PLC 1200- 1214C dc-dc-de Siemens	1	\$900.00	\$900.00
13		Pantalla HMI de 4 in KTp400	1	\$750.00	\$750.00
14	Otros	Varios (costos de envío, procesos de manufactura, entre otros)	1	\$3,000.00	\$3,000.00
Total					\$12,961.00



Diego Duque.
Gerente General

Aprobación por Gerencia.

por Departamento de Mant



Jefatura de Mantenimiento

ANEXO 8

FIRMAS DE FINALIZACIÓN DEL PROYECTO.