



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Adecuación mecánica del equipo ACP-850 y propuesta de automatización desarrollada en codesys para fabricación de cajas estilo dual arch en comercializadora internacional Unibán S.A.

Gloria Andrea Fajardo Rodríguez

Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Ingeniería Mecatrónica
Departamento MMI



Pamplona, 2022



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Adecuación mecánica del equipo ACP-850 y propuesta de automatización desarrollada en codesys para fabricación de cajas estilo dual arch en comercializadora internacional Unibán S.A.

Gloria Andrea Fajardo Rodríguez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero En Mecatrónica

Asesor

William Mora

Ingeniero Mecánico

Esp. Gerencia de mantenimiento

Msc. Ingeniería Ambiental

Universidad de Pamplona

Facultad De Ingenierías Y Arquitectura

Ingeniería Mecatrónica

Departamento MMI



Pamplona, 2022



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Agradecimientos

Doy gracias a Dios por llenarme de fortaleza y valentía para batallar contra las dificultades, gracias a esa fortaleza de ser persistente logré superar los límites del conocimiento y así junto a su mano caminar por caminos llenos de oscuridad.

Mi familia ha sido un elemento vital en este proceso y siempre estaré en deuda con todos aquellos que empacaban en mi maleta un pequeño aporte para avanzar como profesional y así apoyarme en este proceso. Me quedo corta de letras para agradecerle a toda mi familia fajardo toda la fuerza que algún día me brindó.

Mis queridos padres jamás me abandonaron aun cuando las cosas estaban difíciles, cuando en su día a día luchaban por sostener su negocio personal siempre guardaban una parte para apoyarme económicamente por eso les debo mi carrera entera y siempre estaré agradecida.

Quiero resaltar a un grupo en especial que hizo de este proceso un elemento vital para avanzar durante toda la carrera, con ellos hicimos realidad lo que parecía imposible y avanzamos juntos hasta el final Sr(es) Aguazaco & Toloza gracias por la unión durante toda la carrera.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



A todo el cuerpo de docentes quiero agradecer por cada una de las cátedras impartidas y aquellos que le dieron otro grado de dificultad con esto hicieron encender el focus para desbloquear otro grado de sabiduría.

Finalmente agradezco a la empresa C.I Uniban por permitirme estar en el proceso, a los ingenieros Elkin Ruiz & Diego Ríos por confiar en mi destreza para ser un elemento innovador en el proyecto Dual Arch en fábrica de cajas, de mismo modo agradezco al ingeniero John M. Marulanda quien formó una parte importante de mi carácter y habilidad como ingeniera quien compartió sus conocimientos y asesoró para mejorar día a día en los diseños que fueron presentados.

Gloria Andrea Fajardo



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Tabla de contenido

Resumen.....	8
Abstract.....	9
Capítulo I. Marco teórico	10
1. Introducción.....	10
2. Planteamiento del Problema y Justificación.....	11
2.1 Planteamiento del problema	11
2.2 Justificación	12
3. Objetivos	14
3.1 Objetivo General.....	14
3.2 Objetivos Específicos	14
4. Marco Contextual	15
4.1 Misión de C.I Uniban S.A	16
4.2 Visión de C.I Uniban S.A	17
4.3 Valores de C.I Uniban S.A	17
5. Marco Teórico.....	19
5.1 Antecedentes	20
5.1.1 Documentos relacionados con la investigación de papel corrugado	23
5.2 Caracterización de aplicador en continuo ACP-850.....	26
5.2.1 Componentes electrónicos y neumáticos en tablero de mando	27
5.3 Definiciones.....	29
5.3.1 Estructura del papel cartón.....	29
5.3.2 Componentes del cartón corrugado	30
5.3.3 Tipos de cartón corrugado.....	30



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



5.3.4	Configuraciones para fabricación de cajas.....	31
5.3.5	Clasificación de los papeles	33
5.3.6	Propiedades del papel.....	34
5.3.7	Tipos de Adhesivos y su composición	35
5.3.8	Fórmula para preparación de adhesivo con almidón en dual arch	36
5.3.9	Ventajas y desventajas implementación dual arch	37
5.3.10	Esfuerzos en los elementos de una estructura	38
5.3.11	Elementos finitos	39
5.3.12	Controladores lógico programables (PLC)	42
5.3.13	Lenguajes de programación para plc	44
5.3.14	Software codesys	48
5.3.15	Interfaz hmi	49
6.	Metodología	50
6.1	Análisis de espacios físico en planta	50
6.2	Ensamble de diseños aprobados en 3D	50
6.3	Diseño de planos para fabricación	51
6.4	Cotizaciones de piezas a fabricar con diversas empresas	51
6.5	Análisis de diagrama eléctrico del equipo ACP-850.....	51
6.6	Desarrollo de algoritmo de programación.....	52
6.7	Diseño de la interfaz hmi.....	52
7	Marco Legal	52
Capítulo II: Diseño de pieza mecánicas.....		55
8.	Soporte principal de equipo ACP-850.	55
9.	Soporte de equipos auxiliares.....	57
•	Soporte de equipo auxiliar 2 (bomba suministro).....	57
•	Soporte de equipo auxiliar 1(bomba retorno)	58
10.	Soportes de tubería.....	59



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



11.	Bandeja de aguas residuales principal.....	61
12.	Bandeja de aguas residuales bomba retorno.....	62
13.	Limitadores de adhesivo	63
Capítulo III: Simulación en análisis de elementos finitos en solidworks		64
14.	Especificaciones del acero ASTM A529	65
15.	Propiedades mecánicas	65
16.	Análisis de esfuerzos y deformaciones.....	66
	Deformación:	67
	Desplazamiento:	68
	Factor de seguridad	69
Capítulo IV: Fabricación e instalación de piezas mecánicas.....		71
17.	Instalación de soporte principal.....	74
18.	Mantenimiento de equipos auxiliares	78
19.	Instalación de tubería desde el equipo hasta el tanque principal de adhesivo	82
20.	Instalación de bandeja de aguas residuales principal.....	89
21.	Instalación de bandeja de aguas r1esiduales a equipo auxiliar	90
22.	Instalación de limitadores de adhesivo	91
Capítulo V: Sistema de control		92
23.	Descripción de variables que influyen en el proceso	92
24.	Descripción del algoritmo de programación	96
Capítulo VI: Simulación de interfaz HMI en codesys		107
25.	Conclusiones	114
26.	Referencias Bibliográficas	117
27.	Anexos	120



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Resumen

Atendiendo la necesidad de llevar a cabo la implementación de cajas estilo dual arch en la empresa C.I Unibán S.A. se toma la opción de usar el equipo denominado ACP-850 el cual permanecía fuera de servicio dentro de la planta de cartón, y realizarle las adecuaciones mecánicas necesarias para lograr adaptarlo a la aplicación demandada. Se realizan diseños de soporte principal, soportes de equipos secundarios, instalación de tuberías para alimentación del equipo y algunas otras adecuaciones requeridas. Se construyen los planos con ingeniería a detalle para luego de ser avalados por el asesor técnico del área de mantenimiento, enviarlos a las empresas contratistas para realizar la fabricación de las piezas correspondientes; una vez entregadas se verifican en campo y se instalan con supervisión de personal del área.

Tomando como referencia el manual del equipo, se analiza la estructura eléctrica y se deduce la programación de control necesaria para cada actuador, alarma y datos involucrados en el proceso que efectúa la máquina. Se diseña un algoritmo de control con interfaz HMI con el fin de simular un correcto funcionamiento del programa diseñado durante el desarrollo de la práctica como alternativa de futura automatización en el proceso.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Abstract

Addressing the need to carry out the implementation of dual arch style boxes in the company C.I Unibán S.A. The option of using the equipment called Continuous Applicator ACP-850 was taken, which remained outside the service of the cardboard plant, and to make the necessary mechanical adjustments to adapt it to the demanded application. Main support designs, secondary equipment supports, installation of pipes for equipment supply and some other required adjustments are made. The plans are built with detailed engineering so that, after being endorsed by the technical advisor of the maintenance area, they are sent to the contracting companies to manufacture the corresponding parts; Once delivered, they are verified in the field and installed under the supervision of area personnel.

Taking the equipment manual as a reference, the electrical structure is analyzed and the control programming necessary for each actuator, alarm and data involved in the process carried out by the machine is deduced. A control algorithm with HMI interface is designed in order to simulate a correct operation of the program designed during the development of the practice as an alternative for future automation in the process.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Capítulo I. Marco teórico

1. Introducción

C.I Unibán S.A es una empresa dedicada a la comercialización de productos agrícolas y prestación de servicios de logística a nivel internacional con énfasis en la producción y exportación de bananos de alta calidad, dentro de la estructura interna se cuenta con la existencia de áreas como fábrica de cajas tipo exportación marítima, contenedores, producción en finca entre otras. Actualmente la compañía cuenta con el 4% de la comercialización de bananos a nivel mundial lo que la convierte en una de las 4 empresas más representativas a nivel nacional con filiales en florida E.E.U.U y Europa (C.I Uniban, 2022).

Al iniciar como pasante en la empresa entro a formar parte del equipo de diseño donde inicialmente se instruyen los parámetros necesarios para la ejecución del proyecto “*dual arch*” el cual se implementará en la fábrica de cajas de la empresa; las tareas que se deben ejecutar son: caracterizar el proceso que lleva acabo la fabricación de cajas de cartón, realizar un estudio de los equipos disponibles y diseños mecánicos requeridos para el desarrollo de la fabricación de cajas dual arch y el estudio del recorrido de papel dentro del equipo; el cual determinará las adecuaciones y diseños necesarios como: limitadores de adhesivo, dimensiones de soporte principal, áreas de soportes para equipos secundarios y análisis de obstrucciones en el rack de servicios generales. Los



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



planos de cada diseño serán presentados al jefe inmediato del área de mantenimiento quien analizará la viabilidad de aprobación para posteriormente ser enviados a proceso de fabricación.

Como complemento en el proyecto, se propone automatizar el equipo desarrollando la simulación del diseño de programación e interfaz *HMI (Human Machine Interface)*; se plantea controlar los actuadores de la maquina utilizando el diseño de un algoritmo de control en el aplicativo codesys y así lograr migrar el sistema de control de un plc siemens S7-300 a un plc unitronic v570, con el objetivo de mejorar la velocidad de producción a futuro.

2. Planteamiento del Problema y Justificación

2.1 Planteamiento del problema

La empresa uniban requiere la fabricación de cajas estilo dual arch pero actualmente no cuenta con el equipo adecuado para el desarrollo de este nuevo diseño, es por esto que planea la transformación del equipo ACP-850 el cual se encuentra fuera de servicio y mediante estudio técnico previo se determinó que cumple con la mayoría de las especificaciones necesarias para este nuevo diseño de caja. Sin embargo para convertir el equipo en un aplicador de adhesivo continuo requiere el diseño y fabricación de algunas piezas mecánicas: limitadores de adhesivo, soportes de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



equipos auxiliares, soporte principal, re distribución de las tuberías y soportes para el transporte del adhesivo; y de esta forma lograr unir dos papeles en la línea de producción para realizar cajas dual arch. También existe la necesidad de plantear una propuesta a largo plazo para automatizar el proceso.

2.2 Justificación

Uniban es una empresa del sector agroindustrial dedicado a la producción, comercialización y transporte del productos como banano y piña a lugares como Europa y Estados Unidos prestando servicios a empresas como “*YELLOW*”, empresa con sede principal en Polonia y “*FYFFES*” empresa con sede principal en E.E.U.U a donde llegan los productos colombianos. Dentro del proceso de exportación la empresa cuenta con su propia fábrica de cajas de cartón para el almacenamiento de aquellos productos destinados a un largo viaje a través de containers que son enviados por del golfo de Urabá (C.I Uniban, 2018). La materia prima de todo proceso de fabricación de cajas es el factor esencial dentro del costo de producción, para la industria del cartón el papel es el valor más representativo ya que este material que se usa está basado en papeles de alta calidad que conservan las fibras vírgenes del árbol vegetal, esta materia prima es importada desde molinos de E.E.U.U y Polonia debido a la alta calidad por lo cual la empresa puede ofrecer un producto de alta resistencia según los diseños de cajas convencionales (doble pared, pared



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



simple) para cumplir con el requerimiento del cliente y transportar la producción a largas distancias; lo que genera un alto costo por el intercambio de moneda a dólares y los cambios en el mercado por factores externos como el Covid-19 sin embargo, en la industria constantemente se trabajan en mejoras del producto para ofrecer a los clientes una óptima oferta comercial con estructura de materia prima más rígida sin bajar los estándares de calidad. Es por esto que la empresa le apuesta a una mejora de diseño *cajas dual arch* en donde se reduce el consumo del papel y aumenta la resistencia de la caja para así llegar a soportar trayectos más largos. Entre las ventajas de implementación de estructura dual arch está el mayor ahorro de papel, y la posibilidad de poder realizar producción de cajas que mantengan una resistencia mayor con un papel de menor calidad (papeles reciclados).

Contar con dos empalmadores dentro de la fábrica y un equipo aplicador de cera en continuo, con un compartimiento para ingreso del químico a la máquina, más 3 rodillos para la impregnación al papel de forma controlada; se valida la posibilidad de acoplar la maquina al proceso diseñando nuevas estructuras y elementos mecánicos para implementar la unión de dos láminas de papel antes de ingresar a la cabina de corrugación y así fabricar cajas de cartón con estructura dual arch.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar piezas mecánicas para adecuación de equipo ACP-850 y desarrollar una propuesta de automatización utilizando el software codesys, en la empresa C.I Unibán S.A.

3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar las piezas mecánicas requeridas para la adecuación de la máquina ACP-850.
- Realizar el análisis de elementos finitos para validar la resistencia del soporte principal.
- Fabricar e instalar las piezas mecánicas previamente aprobadas por el asesor técnico de la empresa.
- Desarrollar la simulación del sistema de control manual y automático en los limitadores adhesivo desarrollado en lenguaje ladder a través de aplicativo codesys.
- Diseñar interfaz HMI en aplicativo codesys para migración de PLC siemens S7-300 a PLC *UNITRONIC VISION V570-57-T20B*.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



4. Marco Contextual

A mediados del siglo XIX se comenzó a realizar la organización de cultivos en el sector bananero, en el año 1966 se reunieron un grupo de productores de banano para conformar la empresa Uniban (unión bananera de Urabá) donde mantenían un producto de calidad en el mercado colombiano, en el año 1969 la empresa realiza su primer envío internacional de bananos a Estados Unidos en el barco Electrón que zarpó desde Urabá con destino final Florida convirtiéndose en la primera empresa que se arriesgó a entrar en competencia en los mercados del exterior en el sector de la agroindustria, un año después Uniban logra consolidar la empresa *TURBANA CORP* para comercializar la fruta en mercados de Estados Unidos y Canadá con los mismos estándares de calidad requeridos en cada lugar, fue la primera empresa en entrar en los diferentes mercados norteamericanos. En 1975 comienza la relación con la empresa “FYFFES” para así lograr la comercialización de sus productos en la unión europea y en el este de Europa creando la filial “FYFFES NORTH AMERICA” quien es la empresa encargada de comercializar el producto de forma certificada en el mercado norteamericano. Para mediados de 1982 la empresa cambia su razón social a C.I UNION DE BANANEROS S.A (Unibán) manteniendo un alto progreso en la exportación de productos agrícolas, en el año 2006 se realiza la adquisición de la empresa PROBÁN quien en ese entonces se ponderaba en la tercera empresa con mayor exportación de bananos en Colombia de esta forma se consolidó la producción y se ganó posición en los mercados



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Europeos, actualmente se logran alrededor de 40 mil millones de cajas de banano anualmente en donde 4 de 100 cajas comercializadas en el mundo son de Uniban (C.I Uniban, 2022).

4.1 Misión de C.I Uniban S.A

“Somos la comercializadora internacional colombiana líder en la actividad agroindustrial, logística y comercial, principalmente de banano y plátano. Suministramos productos saludables, de alto valor nutricional y excelentes características sensoriales. Así contribuimos a satisfacer las necesidades alimentarias del mundo, mediante procesos eficientes, recurso humano competitivo, alto grado de desarrollo tecnológico, responsabilidad social y ambiental e infraestructura adecuada.

Acompañamos integralmente a los productores y garantizamos, a nuestros clientes y consumidores, el cumplimiento de las exigencias del mercado y de las regulaciones nacionales e internacionales.

Buscamos el desarrollo sostenible de los accionistas y productores, el bienestar de nuestros empleados y el progreso de las comunidades donde operamos en Colombia principalmente Urabá y Magdalena” (C.I Uniban, 2022).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



4.2 Visión de C.I Uniban S.A

“En el 2020 Unibán estará entre los más grandes del mundo en el negocio de banano, plátano y otros productos agroindustriales, con participación directa en la cadena de valor y un abastecimiento asegurado que brinde confianza a sus clientes.

Será reconocido internacionalmente por su liderazgo en calidad, buen gobierno, solidez financiera, responsabilidad social empresarial y el bienestar de sus empleados y productores asociados” (C.I Uniban, 2022).

4.3 Valores de C.I Uniban S.A

- **Integridad:** buscamos la coherencia entre nuestros pensamientos, acciones y palabras; hacemos buen uso de los recursos y obramos con ética, equidad, lealtad y transparencia.
- **Excelencia:** entendemos por excelencia el compromiso con que asumimos nuestras responsabilidades, la calidad, el mejoramiento continuo de nuestros procesos y la efectividad en el cumplimiento de los objetivos propuestos.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **Respeto:** reconocemos las diferencias y derechos de los demás y valoramos el entorno social y ambiental, con sujeción a la normatividad vigente y estricto cumplimiento de la ley.
- **Actitud positiva:** tenemos una visión optimista del futuro, y un comportamiento proactivo, flexible, abierto al cambio y al reto permanente.
- **Responsabilidad social empresarial:** somos sensibles y estamos comprometidos con las personas, comunidades y el medio ambiente” (C.I Uniban, 2022).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



5. Marco Teórico

La empresa Comercializadora Internacional Unión Bananeros De Urabá S.A liderada por el presidente corporativo Juan Luis Cardona Sierra, se dedica principalmente a la comercialización de productos agrícolas, que contribuye a la economía en todo el país; dando la posibilidad de conectar desde el productor hasta los mercados internacionales de Estados Unidos y Europa. La actividad comienza desde la producción de bananos mediante la filian *Agrícola Sara palma S.A* quien lleva a cargo alrededor de 27 predios los cuales cuentan con la producción de aproximadamente 3634 hectáreas de fruta en donde anualmente se producen 7'500.000 cajas de productos entre banano y piña; los servicios que presta la empresa son (C.I Uniban, 2018):

- Producción de banano
- Producción de piña
- Producción de cajas para exportación
- Producción de snack
- Transporte de contenedores

Uno de los servicios con concurrencia y rentabilidad de la empresa C.I Uniban S.A es la producción de cajas para el transporte marítimo de la fruta a larga distancia, es por ello que el área de “*fábrica de cajas*” se divide en 3 sub-departamentos:

- ✓ Área de mantenimiento: Se encarga del mantenimiento de equipos y maquinaria requeridos en la producción de cajas bananeras.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- ✓ Área de calidad: Es la encargada de realizar estudios de calidad, medir esfuerzos máximos y mínimos en la producción de caja para cumplir con los objetivos de confiabilidad en la producción.
- ✓ Área de producción: Su principal función está basada en el seguimiento a la producción según la mano de obra y el talento humano.

5.1 Antecedentes

Cada área maneja una característica especial según lo requerido sin embargo el *área de mantenimiento* se especializa en atender las novedades mecánicas y eléctricas dentro de la planta de cartón. A mediados del año 2016 personal del área de mantenimiento y calidad realiza la visita industrial en la compañía *Cartopel* ubicada en Ecuador en donde se implementa la producción de cajas “*Dual arch*”, es allí en donde se comienza la investigación acerca de la producción doble arco teniendo como fuente de referencia la empresa estadounidense *Harperlove* la cual se dedica principalmente a la búsqueda de innovación en la industria de cartón corrugado mediante estudios científicos y desarrollo de nuevas técnicas tanto de adhesivos como de aditivos de alta calidad.

En el año 2013 *Joe Giovanni* investigador perteneciente al equipo técnico de la empresa *Harperlove* escribe uno de los primeros informes públicos acerca de éste método de manufactura: *dual arch process consideration “Running dual arch successfully requires attention to a few details on the machine. Here are some things to address as you prepare your machine to produce good*



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



quality dual arch.” (Giovanny, 2013; P. Yaseer, 2021); en donde especifica los requerimientos mínimos a tener en cuenta Durante el desarrollo de éste tipo de cajas.

- **Selección de adhesivo:** Existen dos tipos de adhesivos los cuales pueden ser usados durante la producción doble arco, el pva y el tradicional con almidón. El pva es un tipo de aditivo que con ventajas de economía, unión y fuerza en el proceso, sin embargo por su viscosidad influye en la velocidad de producción; mientras que el adhesivo tradicional de almidón tiene la ventaja de ser usado en todo el proceso para todo tipo de cajas y no solo para manufactura de dual arch es por ello que al ajustar la mezcla del almidón se puede lograr usar este tipo de adhesivo para esta aplicación sin la necesidad de agregar un tanque adicional en la planta.
- **Trayectoria del papel:** Las opciones de empalme forman una parte importante dentro del proceso de producción, en algunas plantas generalmente usan empalmadoras de revestimiento superior para enviar de regreso el corrugado medio hacia el equipo de impregnación del adhesivo.
- **Transferencia de calor:** Uno de los mayores inconvenientes con los que tienen que trabajar las plantas que producen este tipo de cartón es la falta de temperatura con la que llegan los papeles unidos a las masas corrugadoras este fenómeno influye en el correcto proceso de corrugación es por ello que generalmente se instalan rodillos pre calentadores a la entrada de las flautas de corrugación para evitar humedad en el papel.
- **Aplicación del adhesivo:** Sin importar que tipo de adhesivo se vaya a usar es importante configurar la aplicación sobre el corrugado medio para lograr crear una unión consistente.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Dentro de los parámetros que se deben ajustar se encuentra el *GAP* (distancia entre el rodillo aplicador y el rodillo de presión) la cual regula el grosor de la película de adhesivo que se aplicará, es importante evitar el exceso de adhesivo ya que si esto sucediese la humedad de la goma entraría en los rodillos onduladores causando atranques en la producción y graves averías en el proceso.

- **Equipos para la aplicación:** En el proceso de fabricación de cajas *dual arch* el cual consiste en la unión de dos laminas *corrugados medios* para realizar el proceso de ondulación simultáneamente, se requiere un equipo con la capacidad de controlar la velocidad de aplicación y la película que se le impregna al papel. En la actualidad existe un equipo especialmente fabricado para este tipo de aplicaciones llamado “*profero*” el cual tiene como ventaja el control de la impregnación en el adhesivo ya que realiza el proceso de aplicación por líneas y no en cobertura total; no obstante, estos son algunos de los equipos que cumplen con las especificaciones técnicas mínimas como alternativas para implantar manufactura *dual arch*:
 - **Cuchillas de recubrimiento:** Este equipo tiene la versatilidad de implementación a bajo costo sin embargo no ofrece la posibilidad de regular el adhesivo que se aplica a la línea de producción.
 - **Rod coater:** Este equipo es usado especialmente para aplicaciones de doble arco sin embargo presenta dificultades de limpieza a la hora de ser usado con adhesivo tipo pva.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **Aplicador continuo de cera:** En algunas plantas tienen como ventaja la existencia de estos equipos dentro del proceso. Luego de tener en cuenta las consideraciones mencionadas y adición de piezas mecánicas para cumplirlas estos equipos pueden ser usados en el desarrollo de *dual arch*.
- **Represas y limpiadores:** Dentro de las consideraciones claves se encuentra el control del adhesivo mediante el uso de represas, esto con el fin de evitar impregnación en los bordes ya que las fibras del papel a altas velocidades y tensión tienden a causar el fenómeno de ruptura.

Luego de analizar estas 6 principales consideraciones publicadas por la empresa *Harperlove*, la empresa toma la decisión de crear un grupo interdisciplinario y así estudiar las opciones disponibles dentro de la planta de cartón para llevar a cabo la metodología *dual arch*; es allí en donde se analiza la posibilidad de aprovechar la existencia de un equipo fuera de servicio como lo es el ACP-850 teniendo en cuenta que este es un equipo actualmente con disponibilidad para su uso.

5.1.1 Documentos relacionados con la investigación de papel corrugado

5.1.1.1 “Automatización de equipos para diversos usos en la producción de papel-cartón”

En Yeshwantrao Chavan College of Engineering, India se desarrolló el diseño de una máquina de cartón completamente automática que garantizara la reducción de tiempos y aumentara la calidad



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



y cantidad del producto. Para lograrlo se automatizó el sistema de corte y transferencia manual de la hoja y se incorporó un corte directo en el tambor y presión de aire para separar la hoja, un sistema de corte transversal y un sistema de control general. El proceso inicia con la evaluación de la máquina original y permite definir los requisitos, luego se desarrolla el diseño y finalmente se implementa el microcontrolador para lograr la automatización del proceso. El resultado fue una máquina eficiente con un proceso más rápido, obteniendo un producto de calidad (P. Yaseer, 2021).

5.1.1.2 “Modernización de una línea de corrugados”

En el instituto tecnológico de Buenos Aires, se realizó un análisis de la factibilidad de modernizar la línea de producción de cartón corrugado, involucrando un análisis económico e ingenieril, donde se estudiaron las necesidades particulares de la empresa para tomar las mejores decisiones de implementación y viabilidad operacional en la empresa CARTOX que se dedica a la fabricación de embalajes de cartón corrugado. Teniendo en cuenta que la corrugadora tiene más de cuarenta años y la tecnología que utiliza disminuye la productividad y calidad de las operaciones. Las corrugadoras que actualmente se ofrecen en el mercado poseen una tecnología que les permite operar a una velocidad mayor y con costos unitarios sustancialmente menores que las antecesoras. Se evaluó la capacidad de la corrugadora y las necesidades de la empresa, determinando que para



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



las variables del proceso se requieren la adquisición de la nueva máquina con un proceso automatizado que mejora la capacidad de producción y tiempos de entrega (Javkid, Marino, & Robiolio, 2014).

5.1.1.3 “Propuesta de un software para el control y seguimiento del proceso de diseño y rediseño de maquinaria papelerá para la empresa del grupo Cartopel S.A”

En la industria empresa del grupo Cartopel S.A se desarrolló un proyecto de la Universidad de Israel en Ecuador, cuyo objeto fue la propuesta de un software para el control y seguimiento del proceso de diseño y rediseño de maquinaria papelerá para la empresa del grupo Cartopel S.A. Este trabajo buscó orientarla hacia las nuevas tecnologías como es la automatización de sus datos, actualización de los recursos físicos (*hardware*), recursos lógicos (*software*). El rediseño permitió que la máquina fuera más eficiente y que su sistema de control garantizara la calidad del producto terminado (Zhañay, 2011).

5.1.1.4 “Fabricación y automatización de una máquina para cortar cajas de cartón con plc”

En la Universidad Pontificia Bolivariana se desarrolló el diseño, la construcción y descripción del proceso de automatización de una máquina para cortar cajas de cartón, en el equipo un encoder lleva las dimensiones de la caja y se pueden variar desde una pantalla táctil que se encuentra conectada a un PLC usando una red *Modbus* TCP/IP. Los cortes se realizan con una cuchilla de acero de dos profundidades que permiten elaborar todos los cortes requeridos en la caja (Posada, 2010).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



5.2 Caracterización de aplicador en continuo ACP-850

El equipo está conformado por 3 rodillos principales, anilox, silicona y vapor los cuales están ubicados simétricamente verticales. El rodillo anilox es el que entra en contacto directamente con la bandeja principal en donde estará ubicada la parafina, el cual regula su velocidad según el dato suministrado por el tacogenerador principal que realiza la lectura de la rapidez del papel; además cuenta con un sistema de leva que ajusta la distancia del gap (distancia de separación entre el rodillo aplicador y el rodillo de silicona) en donde se envían los datos por medio de un Encoder al plc como información para visualización en pantalla y así controlar de manera manual el grosor de la parafina a aplicar. En tercera instancia el equipo cuenta con un rodillo de vapor que es usado principalmente para limitar los excesos de humedad, en la figura 1 se observa el equipo ACP-850.



Figura 1. Equipo ACP-850 estado inicial. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

5.2.1 Componentes electrónicos y neumáticos en tablero de mando

En la figura 2 y 3 se visualizan los componentes neumáticos y electrónicos que son controlados mediante el plc *Siemens s7-300*.

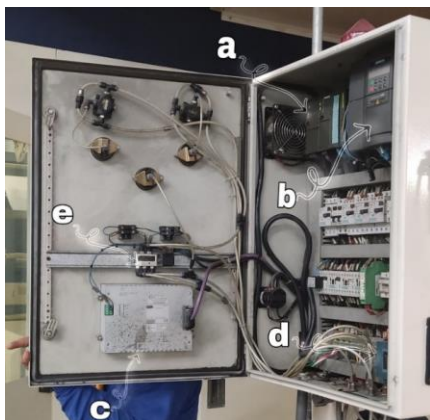


Figura 2. a) Plc Siemens S7-300. Fuente: Autor
b) Variador de frecuencia MM 440
c) Display ESA
d) Transformador 220v
e) Valvula de 5 vias



Figura 3 . f) Grupo de mantenimiento. Fuente: Autor
g) Motor trifasico
h) Tacogenerador
i) Encoder

- a) Controlador autómatas programable Siemens S7-300: Este dispositivo controla la temperatura de la máquina y la velocidad del rodillo aplicador mediante los datos suministrados por el variador de frecuencia y el medidor de temperatura instalados en la máquina.
- b) Variador de frecuencia MM440: con la capacidad de controlar la variación de velocidad en los motores trifásicos el variador cuenta con tecnología *insulated gate bipolar transistor* el cual es un método de modulación por ancho de pulsos con frecuencia de pulsación.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- c) Pantalla táctil: Display es marca *ESA* referencia VT505W000 con resolución 320X 240 y puerto serial RS232 (8pines). En la pantalla del equipo actualmente se visualizan los estados de emergencia, alarmas, velocidad del rodillo principal y gap también se muestra la temperatura de la parafina mientras le equipo se encuentra en uso.
- d) Transformador: Ya que el equipo está fabricado con estándares europeos cuenta con un transformador de 440V a 220V para adaptarse a los estándares latinoamericanos.
- e) Válvula de 5 vías: Ya que el cilindro de vapor es cuenta con un accionamiento neumático para presión, el equipo cuenta con un este sistema convencional de bombeo.
- f) Grupo de mantenimiento: Este dispositivo mantiene un control de calidad del aire que se usa para el mecanismo neumático filtrando regulado y lubricando el sistema en el equipo.
- g) Motor trifásico de 2.2kV a 5.1A: El rodillo principal cuenta con un acople a un motor trifásico para lograr controlar la velocidad de aplicación por medio del motor.
- h) Tacogenerador 1000 RPM a 20V: Lee la velocidad a la que entra el papel a la maquina mediante datos análogos para enviar información al controlador principal en este caso al siemens s7-300.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- i) Encoder marca monher: Cuenta con 10 salidas digitales y una alimentación eléctrica de 24 v, las salidas se interconectan con el controlador principal para enviar el dato de la posición vertical en la que se encuentra el gap.

5.3 Definiciones

5.3.1 Estructura del papel cartón

Para la fabricación de cajas de cartón enfocadas a exportación de frutas se deben tener características de resistencia especiales para cumplir con los estándares de calidad requeridos para su transporte marítimo, es por esto el papel juega un rol importante en la elaboración ya que para efectuar cajas de alta calidad es necesario hacer el uso de fibra virgen como materia prima la cual conserva las características requeridas, a continuación se observa en la figura 4 y la figura 5, la comparación de las fibras dentro de la membrana del papel este sistema aporta resistencia en esfuerzos verticales y horizontales a la hora de transportar el producto a largas distancias (C.I Uniban , 2014).

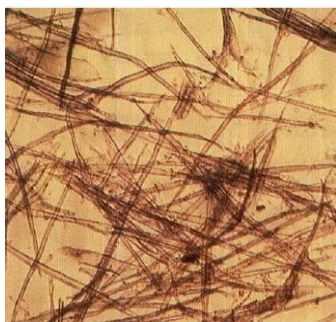


Figura 4. Imagen papel de Fibra virgen. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

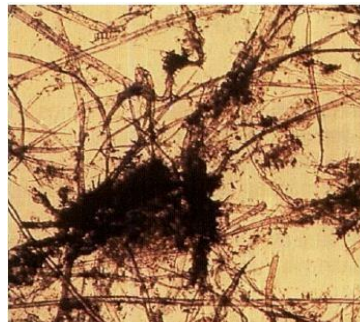


Figura 5. Imagen Papel reciclado. Fuente: (C.I Uniban , 2014)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



5.3.2 Componentes del cartón corrugado

Para la conformación de una caja de papel existen 5 tipos de configuraciones las cuales varían dependiendo de los requerimientos y el producto a transportar, dentro de los componentes del cartón corrugado se tiene en cuenta tanto el tipo de papel a usar como el tipo de adhesivo que se usa dentro de la elaboración ya que al realizar una combinación de estas dos materias primas cambia las propiedades del papel y con ello los estándares de calidad, (C.I Uniban , 2014).

5.3.3 Tipos de cartón corrugado

- Liners: Es el papel plano del cartón corrugado, compuesto en la estructura mecánica de la cara interna y externa de una caja, en la figura 6 se evidencia el papel tipo *liner* el cual recubre la parte superficial del cartón, (C.I Uniban , 2014).

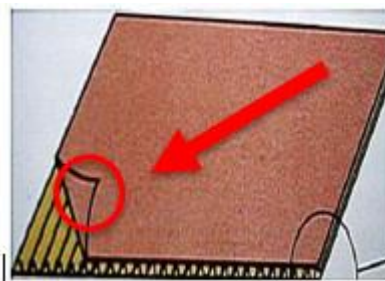


Figura 6. Representación gráfica de cartón tipo *liner*. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

- Corrugado medio: Es el papel utilizado para formar la parte ondulada del cartón corrugado que mantiene los *liners* unidos y dan con ellos la “**resistencia a la compresión vertical**” y



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

la “resistencia al aplastamiento horizontal”, a continuación se observa la estructura del papel tipo corrugado medio en la figura 7, en donde sobre el recuadro que se resalta se detalla la configuración de este tipo de papel sobre el cartón, (C.I Uniban , 2014)..

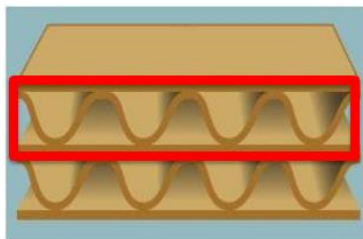


Figura 7. Representación gráfica de cartón tipo corrugado medio. Fuente: (C.I Uniban , 2014).

5.3.4 Configuraciones para fabricación de cajas

- Pared simple: Está conformada por 3 láminas de papel dos tipos *liner* y una corrugado medio, por lo general este tipo de configuración es la más usada en las industrias por su versatilidad en el mercado, ver figura 8 para observar a detalle el ensamble del estilo de caja tipo pared simple, (C.I Uniban , 2014).

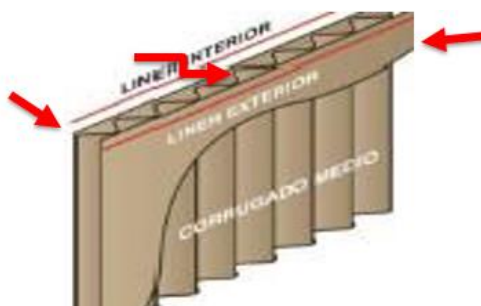


Figura 8. Representación gráfica de caja tipo pared simple. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

- Dual Arch: Esta configuración tiene predeterminado el uso de dos *liners* y dos corrugados

medios, en la actualidad esta configuración es la más usada en Europa, en la figura 9, se observa como por medio de la unión de dos láminas de papel se logra la configuración de un estilo de caja de doble arco el cual brinda resistencia en el transporte para mejorar la estructura interna de la caja, (C.I Uniban , 2014).

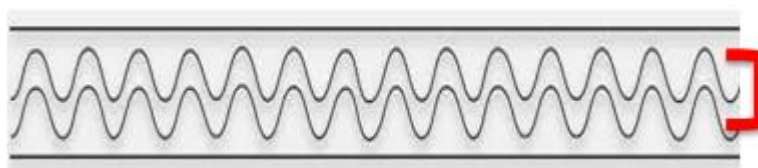


Figura 9. Representación gráfica de caja tipo dual arch. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

- **Pared doble:** Se conforma principalmente por 3 papeles tipo *liner* y dos corrugados medios, generalmente se usan para transportar productos a largas distancias, en la figura 10 continuación se detalla como por medio de la estructura de papel se conforma el estilo de caja doble pared, (C.I Uniban , 2014).

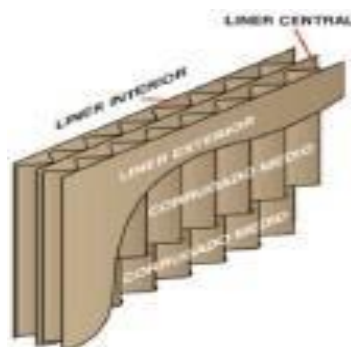


Figura 10. Representación gráfica de caja tipo pared doble. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

- **Triple pared:** Este tipo de configuración tiene como fin transportar los productos de mayor peso, dada sus características de resistencias requeridas se usa 3 y 3 medios corrugados,



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



en la figura 11 se visualizan las tres capas que conforman la estructura de un estilo de caja triple pared, (C.I Uniban , 2014).

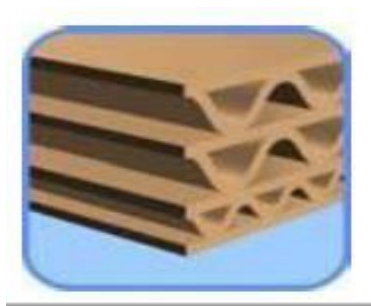


Figura 11. Representación gráfica de caja tipo triple pared. Fuente: (C.I Uniban , 2014)

5.3.5 Clasificación de los papeles

Según (Javkid, Marino, & Robiolio, 2014), la clasificación de papeles están dadas por las siguientes clases:

- **Kraftliners:** Estos papeles usualmente son fabricados a partir de la fibra virgen y se utiliza para los tipos de cartón liner este tipo de papel es el de mayor calidad dado que no cuenta con ningún porcentaje de fibras recicladas, este papel aumenta linealmente la resistencia con respecto al gramaje a usar
- **Testliners:** Este papel es crudo, generalmente usan la mayor parte de su estructura en fibras recicladas donde también predomina en la fabricación de cartón liner sin embargo debido a su arquitectura interna la resistencia del papel no es lineal con respecto al gramaje a usar



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- Onda Semiquímica: Este papel se usa para la fabricación de cartón corrugado medio, no obstante su composición es una mezcla de papel reciclado y fibra virgen en donde se le añade a su estructura interna químico o incluso madera para mejorar la resistencia de la composición interna del papel
- Onda Reciclada: este papel es comúnmente usado para la fabricación de cajas donde el transporte no requiera de alta resistencia en su empaque ya que este es usado para la elaboración de corrugado medio y cuenta con un alto porcentaje de fibras recicladas las cuales bajan los estándares de calidad dentro del producto final.

5.3.6 Propiedades del papel

Según *Pachacama 2013*, existen las siguientes propiedades que influyen en el proceso de fabricación para cajas de cartón.

- Durabilidad del papel: Este es el factor que determina la capacidad de tiempo en el que el papel mantiene sus estructuras sin degradación, normalmente la humedad transporta agentes químicos que se introducen en las fibras del papel y degradan lentamente las cadenas celulósicas.
- Estabilidad dimensional: Es la característica que tiene el papel de mantener la estabilidad dentro de sus fibras internas al ser sometido a cambio de temperaturas lo que conlleva a un



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



cambio en la humedad del ambiente, esta propiedad determina la capacidad de retener sus dimensiones y estabilidad ante los factores del medio ambiente .

- Relación Espesor/Peso: Está propiedad se relaciona directamente cuando se compara el gramaje del papel a usar con respecto al espesor donde generalmente varía cuando se compacta con químicos añadidos es ahí en donde cambia la densidad del producto y con ello varia la propiedad .
- Permanencia: está propiedad está ligada a las propiedades mecánicas y color con las que el papel mantiene sus características en el estado inicial, esto caracteriza un factor importante a la hora de analizar el producto en prolongados tiempos de almacenaje
- Resiliencia: capacidad con la que cuenta el papel para ser manejable y transformable a su estado inicial sin embargo la pasta de adhesivo puede diferir en la dureza y la transformación del papel
- Carteo: Es la el sonido producido por el papel a la hora de ser manipulado
- Rigidez a la flexión: está es la propiedad principal a la hora de fabricar cajas de cartón ya que según la rigidez de la flexión del papel esto aumentará o disminuirá la capacidad del producto final de soportar antes de llegar al punto de aplastamiento (Fällstrom, Gren, & Mattson, 2002).

5.3.7 Tipos de Adhesivos y su composición

Existen dos tipos de adhesivos que son utilizados para la producción de cajas dual arch: fraguado en frío (**PVA**) y **almidón**. El adhesivo de almidón es una buena adaptación con respecto al PVA;



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



produce una buena unión y resistencia a un costo bajo. El adhesivo de PVA produce una buena unión, pero el precio es elevado y no es tan tolerante como el almidón a la hora de manejabilidad. El adhesivo de almidón es conveniente de implementar porque la planta de adhesivos ya está elaborando adhesivo para el corrugador principal, y solo se necesitan cambios menores para que la fórmula funcione como un adaptable al proceso (Giovanny, 2013).

Con un PVA, se debe configurar algún tipo de sistema de suministro para alimentar la bandeja de pegamento. La mayoría de las plantas que utilizan PVA lo alimentan desde el tanque de almacenamiento a la bandeja de adhesivo. Para esto, debe tener suficiente espacio en la máquina para almacenar la primera cantidad de químico mientras alimenta la bandeja de pegamento. Con el almidón, simplemente será necesario implementar una línea de alimentación y otra de retorno hacia el tanque de la planta principal (Giovanny, 2013).

5.3.8 Fórmula para preparación de adhesivo con almidón en dual arch

Las características que le permitirán funcionar bien en el corrugador; incluso se puede mezclar con su adhesivo existente. Esto hace que sea muy conveniente usar el residuo de un tramo de dual arch con solo bombearlas a su tanque de almacenamiento (Giovanny, 2013).

Elemento	Cantidad
Agua primaria	900 lbs
Almidón primario	95 lbs
Cáustico primario (50%)	32 lbs
Bórax (5 mol)	10 lbs
Agua secundaria	1080 lbs



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Almidón secundario	680 lbs
Multibond	70 lbs
Peso total	2867 lbs
Volumen del lote	315 lbs
Sólidos (solo almidón)	27%
Seco lbs por gal	2.46

Tabla 1. Cantidades adecuadas para preparación de adhesivo dual arch, Fuente: (Giovanny, 2013)

5.3.9 Ventajas y desventajas implementación dual arch

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor costo	Poca información
Disminución consumo de materia prima	Baja velocidad de producción
Mayor resistencia al aplastamiento en vertical	Aumento de consumo en adhesivo
Presenta un alto valor al bending stiffness superior en muchos casos al de la doble pared lo que lo hace ideal en aplicaciones de cajas tipo charola o bandeja[2]	

Tabla 2. Ventajas y desventajas de producción dual arch, Fuente: (C.I Uniban , 2014)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



5.3.10 Esfuerzos en los elementos de una estructura

Es el análisis matemático que se realiza a las estructuras con la intención de determinar la carga que puede ser soportada con seguridad. Se considera las fuerzas por unidad de área a través de una sección dada, este estudio se conoce como *Esfuerzo* y es generalmente representado como *Sigma*, actualmente existen seis tipos de esfuerzos para un análisis de seguridad en una estructura, (Johnson, Dewolf, & Mazuke, 2010):

- *Esfuerzo de tracción*

Una articulación o estructura trabaja a tracción, o está sujeta a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlo.

- *Esfuerzo de compresión*

Es el esfuerzo que actúa en compresión cuando dos fuerzas de la misma dirección y sentido contrario intentan contra el objeto.

- *Esfuerzo de flexión*

Es el resultado del esfuerzo que se aplica sobre dos fuerzas que se encuentran perpendicularmente al eje principal del elemento que tiende a doblar la estructura, la flexión generalmente produce compresión en el área cóncava del elemento y tracción en el elemento opuesto.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- Esfuerzo de torsión

Es el esfuerzo que se aplica sobre un elemento que cuenta con dos fuerzas en direcciones contrarias con la tendencia de torcer o girar la estructura.

- Esfuerzo de cilla

Es un esfuerzo que estimulan fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del elemento; es ahí donde se aplican en sentidos contrarios casi en la misma línea que tienden a cortar o fisurar la estructura.

- Esfuerzo de pandeo

Es un tipo específico de esfuerzo que se relaciona generalmente con la compresión en elementos que cuentan con una longitud larga en correlación con su sección transversal. Al deformarse la estructura su centro de gravedad se desvía del eje central, aumentando el momento de la fuerza y disminuyendo su resistencia.

5.3.11 Elementos finitos

Los esfuerzos cuentan con modelaciones matemáticas complejas dependiendo de la estructura y área a analizar, es por esto que hoy en día existen métodos que facilitan el estudio. El *análisis de elementos finitos* básicamente consiste en analizar las fuerzas, vibraciones, calor, etc. Donde Estos parámetros influyen en los diseños de las estructuras mecánicas mediante el uso de software que realizan la simulación de las cargas a las cuales se someterán los elementos, aplicando el desarrollo



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

de mallas bajo la conexión de puntos finitos en el análisis; según el profesor *J.N Readdy* (*An introduction to the finite element method*, 2005) describe el método en dos principales conceptos, (Readdy, 2005):

- Idea básica: Es un método numérico general y fiable para el desarrollo del análisis a condiciones físicas complejas tanto en la geometría como en el entorno. Realiza una solución aproximada mediante polinomios simples que entrelazan con un conjunto de funciones hasta convertirse en una función continua.

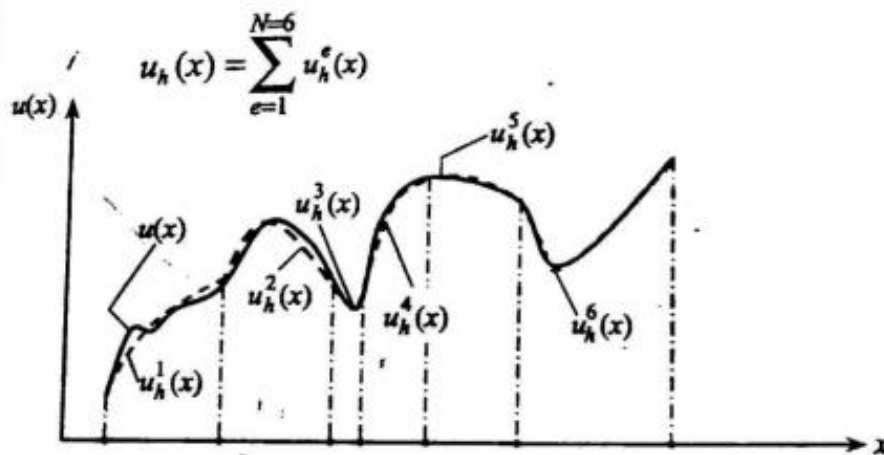


Figura 12. Descripción grafica de la idea básica para el desarrollo de análisis de elementos finitos. Fuente: (Readdy, 2005)

- **Las características básicas:**

Las características que rigen el método están simplificadas en tres principales:

- **Dominios geoméricamente complejos:** Referencia a un conjunto cerrado en donde se ubican las ecuaciones a resolver dentro del método.
- **Desarrollo de ecuaciones:** Se realiza una partición al dominio en elementos finitos donde se busca determinar la función de cada elemento para posteriormente realizar caracterización de una ecuación que me permita la de toda el área a analizar.
- **Ensamble:** Se realiza un enlace de relaciones de todos los elementos según la posición original.

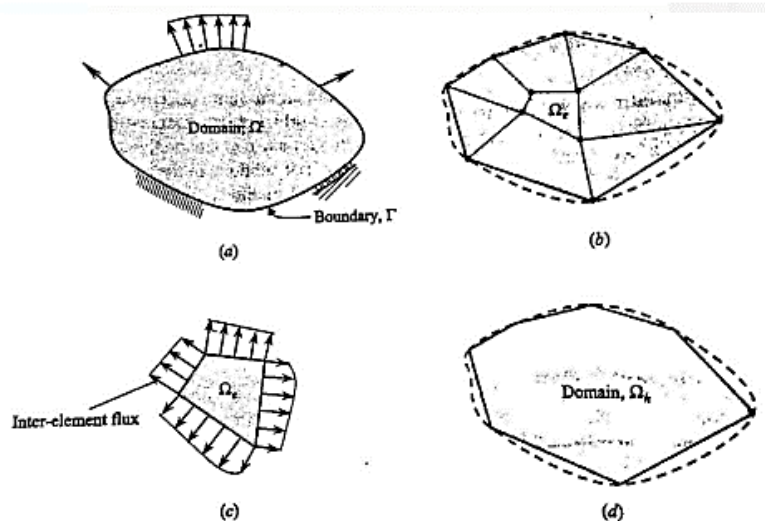


Figura 13. Descripción grafica de los conjuntos para el desarrollo de análisis de elementos finitos. Fuente: (Readdy, 2005).



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Luego de tener claros los conceptos y características principales del método se debe tener en cuenta que para el desarrollo de una solución apropiada se debe tener una ecuación gobernante determinar las funciones de aproximación que son tomadas como polinomios según el elemento modelado, esta ecuación se busca derivar mediante la estrategia de interpolación que se puede lograr evaluar la cantidad de errores o desfases del modelo mediante integrales.

5.3.12 Controladores lógico programables (PLC)

Son dispositivos electrónicos con la capacidad de almacenar y procesar datos para el envío de señales que requieran control. Generalmente cuentan con memorias de almacenamiento para editar el control en tiempo real por medio de algoritmos de programación digitados por el fabricante o desarrollador, son principalmente usados en máquinas automatizadas que requieran de una precisión adecuada a procesos que se llevan a cabo, con diferentes partes que conforman todo el sistema del dispositivo como los son:



Figura 14 . Estructura física de un plc siemens categoría logo. Ajustado por: Autor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **CPU:** Es el elemento principal de PLC quien ejecuta e interpreta el algoritmo insertado por el desarrollador es decir, es la unidad encargada de comunicar al usuario con todos las entradas/salidas de control con recepción de datos y conmutación a los actuadores.
- Memoria: Es una parte importante dentro de la CPU es quien se encarga de almacenar los datos recibidos por el autómata y los cambios en las variables del sistema.
- Interfaces: las normas que rigen los autómatas programables bajo el concepto de E/S (entradas y salidas) son principalmente RS-232 Y RS-422 que se basan en el transporte y comunicación con datos binarios.
- Unidades de programación: Dentro de las opciones de programación con las que cuenta el autómata dependiendo de la aplicación sostiene tres principales formas de editar su programa interno.
- Unidad: Generalmente es visualmente similar a una calculadora, con la versatilidad de programación de forma eficaz y sencilla sin embargo, cuenta con un rango limitado de programación a las funciones ya que solo permite modificar la lectura de los datos o pequeñas partes del algoritmo de programación.
- Consola: Con la característica de uso como terminal, es una opción cómoda y ligera para el usuario a la hora de visualizar parámetros con desajuste dentro del proceso.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- PC: Es la opción más completa ya que cuenta con todos los recursos necesarios de conexión entre el dispositivo y el usuario, mediante el uso de esta opción se logra acceder a las funciones principales del algoritmo interno en el plc.
- Entradas y salidas: Usualmente se disponen de dos tipos de entradas y salida; las análogas y las digitales; las análogas están caracterizadas por el uso de fundamentos en bytes mediante el uso de este tipo de datos se logran transportar medidas como la temperatura, velocidad, aceleración en números reales al controlador. En el uso de datos digitales se fundamenta el control o almacenamiento de datos por medio de números binarios. (Molina, 2018)

5.3.13 Lenguajes de programación para plc

Para la comunicación entre elementos electrónicos, el controlador de la máquina y el hombre existen diversos lenguajes de programación usados especialmente para determinar los parámetros de funcionamiento del sistema, el objetivo es lograr obtener un control parcial del equipo por medio del plc y un conjunto de algoritmos que condicionarán la puesta en marcha del equipo donde se requiera control automatizado; dentro de los lenguajes que existen actualmente para el desarrollo de algoritmos tenemos, (Molina, 2018) :

- Diagrama ladder (LD): Es un esquema derivado del diagrama eléctrico con uso de contactores y solenoides, generalmente están interconectados mediante una línea principal



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

de alimentación en donde dependiendo su configuración dan paso a la energía eléctrica o no a los actuadores que se desea controlar, éste tipo de simbología se encuentra basado en la norma NEMA con funciones complejas como contadores, temporizadores y registros de desplazamiento etc.

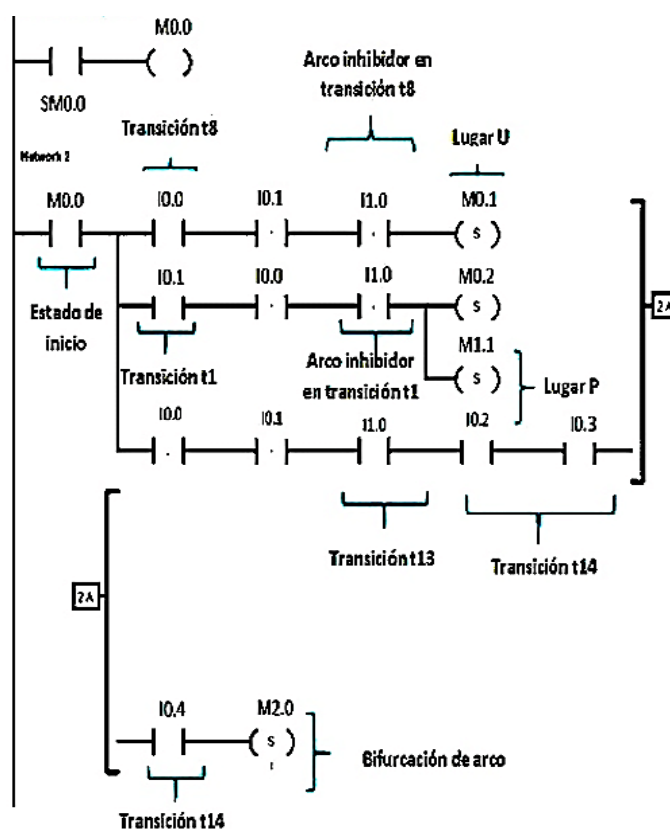


Figura 15. Representación visual del lenguaje ladder o escalera. Fuente: (Molina, 2018)



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- Texto estructurado (ST): El lenguaje *ST* es un lenguaje derivado de niveles avanzados de programación con C o C++ cuenta con las mismas propiedades que este lenguaje y sentencias para activar los actuadores, además según el numero booleano reescrito en la variable del actuador tiene la posibilidad de activas cálculos numéricos dentro de un bloque de programación.

```
1  
2 (* infoPLC.net TEMPORIZADOR *)  
3  
4 (*Instruccion TIMX ( Bit de activacion, Nombre del temporizador, Valor de temporizacion) *)  
5 TIMX(Marcha,Temporizador1,Valor_Tim);  
6  
7 (* infoPLC.net ACTIVACION DE TEMPORIZADOR y PUESTA A ON DE MOTOR *)  
8 IF Temporizador1.CF = TRUE THEN  
9     Motor:= TRUE;  
10 END_IF;  
11  
12
```

Figura 16 . Representación visual del lenguaje texto estructurado. Fuente: (Molina, 2018)

- Sequential function chart (SFC): Es un algoritmo de programación basado en la visualización de bloques secuenciales los cuales buscan realizar tareas paso a paso y su forma de ejecución es determinada según la condición validada dentro de cada bloque lo que convierte este lenguaje en un conjunto de diagramas de sucesiones alternadas de etapas y transiciones.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

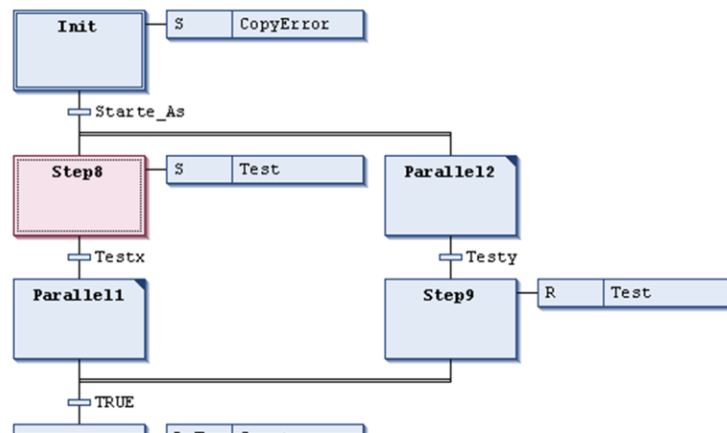


Figura 17 . Representación visual del lenguaje *SFC*. Fuente: (Molina, 2018)

- Lista de instrucciones (IL - Instruction List): Con una estructura equivalente al lenguaje de ensamblador, el listado de instrucciones cuenta con una combinación sencilla de instrucciones en donde cada línea de código cuenta con una única operación y etiqueta que permite habilitar o inhabilitar el paso a la siguiente instrucción.

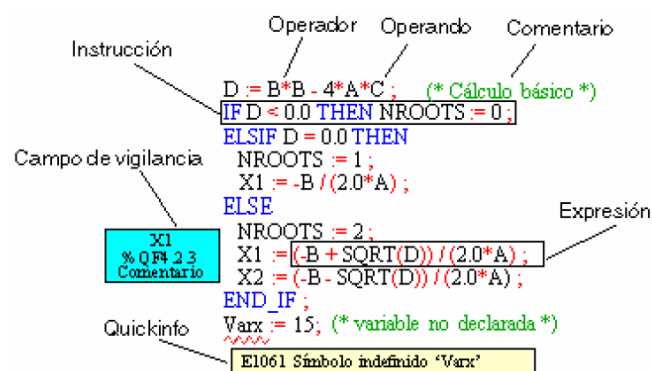


Figura 18 . Representación visual del lenguaje lista de instrucciones. Fuente: (Molina, 2018).

- Diagrama de bloques(FBD): Es un lenguaje basado en la lógica binaria el cual mediante una conexión similar a la de un circuito eléctrico en donde se emplea una metodología estándar usa bloques para ingresar las funciones binarias a validar dentro de la programación, así mismo usa bloques para representar la salida o actuador ya que estos elementos finales de control son asignados a una variable que varía su activación de forma binaria.

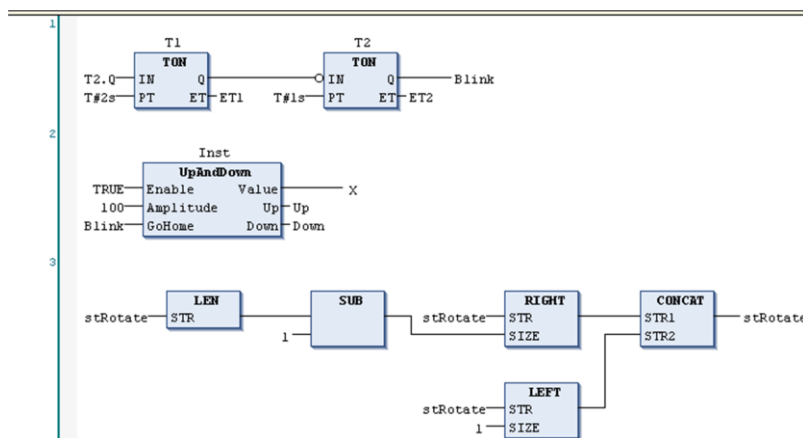


Figura 19 . Representación visual del lenguaje diagrama de bloques. Fuente: (Molina, 2018)

5.3.14 Software codesys

Este software es una plataforma versátil con amplia gama de recursos ya que está basado en la norma IEC 61131-3 que estandariza internacionalmente el lenguaje de programación de los controladores lógico programables con el fin de ramificar la gran variedad existente en solo dos principalmente, los lenguajes gráficos y los textuales. A nivel mundial es uno de los software con



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



mayor uso en las aplicaciones de automatización en la industria, desde plantas como *Schneider Electric* hasta *Festo* basan sus programaciones en codesys; además la plataforma ofrece diseño de interfaz gráfica y simulaciones para mejorar la visualizaciones de activación en actuadores principales y así lograr comprobar los algoritmos programados de aquellos desarrolladores que usan este programa en sus proyectos, dentro del paquete de lenguajes disponibles en el software bajo la norma IC61131-3 tenemos, (Marin Sanchez, 2018):

- Lenguaje escalera (LD - Ladder Diagram)
- Diagrama de bloque de funciones (FBD - Function Block Diagram)
- Texto estructurado (ST - Structured Text)
- Lista de instrucciones (IL - Instruction List)
- Bloques de función secuenciales (SFC - Sequential Function Chart)

5.3.15 Interfaz hmi

Significa << *Interfaz humano-maquina*>> es la visualización del proceso mediante diagramas pictográficos, en este se pueden visualizar los comportamientos de los datos que se encuentran dentro del sistema, estas señales son emitidas por tarjetas de control o controladores lógico programables que enlazan la información entre la interfaz y los componentes del equipo. El principal objetivo de este tipo de interfaz en la industria se aplica para mejorar la comunicación entre el operario y el dispositivo final con el fin de identificar situaciones anormales en tiempos



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



en el menor tiempo posible, sin embargo este tipo de visualizaciones tienen cuatro niveles para que se han estandarizado para el uso de HMI, (Rodríguez, 2012):

- Nivel 1: Visualización del proceso
- Nivel 2: Control del proceso
- Nivel 3: Identificación a detalle del proceso
- Nivel 4: Mantenimiento y diagnóstico de fallas del proceso.

6. Metodología

6.1 Análisis de espacios físico en planta

Se realizó un mapeo general de las medidas que involucran el espacio para instalar el equipo, se construyen los planos teniendo en cuenta al operador para validar un área en donde este pueda transitar libremente sin llegar a tener accidentes con la lámina de papel que ingresa a altas velocidades al equipo dual arch; Se realizó una reunión con el grupo interdisciplinario en donde se determinó la posición exacta del equipo.

6.2 Ensamble de diseños aprobados en 3D

Utilizando el software *solidworks* se realizó la creación de las piezas para la construcción del ensamble principal de cada diseño, en donde se analizó el peso del diseño para tener una estimación del valor de cada diseño y anexarlo en la cotización con las empresas fabricantes.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



6.3 Diseño de planos para fabricación

Al construir planos de cada pieza requerida en el diseño se le indicó al fabricante referencias tanto de material como de ingeniería a detalle usando la herramienta dibujo de *SolidWorks*. Como las piezas fueron enviadas a una empresa contratista para realizar el proceso de fabricación, el diseñador debió definir tanto las vista por sección como de los detalles de soldadura, distancia, tipos agujeros entre otros.

6.4 Cotizaciones de piezas a fabricar con diversas empresas

Posteriormente a la creación de los planos, se realizó una invitación a cotizar a diferentes empresas anexando los detalles de la cotización y los planos respondientes de cada diseño. Luego de recibir respuesta se realizó una reunión interdisciplinar con el equipo interno donde se analizaron las ofertas y se seleccionaron a las empresas con mayor viabilidad en el proyecto.

6.5 Análisis de diagrama eléctrico del equipo ACP-850.

Dentro del manual existente del equipo se presentan los diagramas eléctricos con el cual se realizó una caracterización del sistema eléctrico y electrónico: entradas y salidas tanto análogas como digitales, voltajes de activación, intensidades en motores a usar, entre otros; esto con el fin de determinar las variables que se establecen para el control.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



6.6 Desarrollo de algoritmo de programación

Para el desarrollo del programa de control primero realizó una identificación de las entradas y salidas tanto análogas como digitales al plc, posteriormente se usó el programa *Codesys* para diseñar el algoritmo de control mediante el uso del lenguaje *Ladder*.

6.7 Diseño de la interfaz hmi

Aprovechando las características del software *Codesys* el cual cuenta con biblioteca de visualización, se diseñó una interfaz la cual se enlazó con la programación principal para facilitar la activación de los actuadores mediante simulación, también se realizó la interfaz con la que tendrá contacto el operador. Con lo cual todo esto forma parte de la propuesta a desarrollar.

7 Marco Legal

- **Software Step7 siemens:** Para llevarse a cabo la edición de programación para el plc s7-300 es necesario adquirir el software de programación por medio de la página oficial, lo que implica un sobre costo en la compra para lograr generar cambios en el algoritmo del controlador, (Siemens, 2003).
- **Licencia de solidworks:** Para usar el programa “*solidworks*” el cual es un programa especialmente para diseñar y analizar elementos estructurales en 2D y 3D, sin embargo es necesario adquirir una licencia para el uso de este programa por lo cual la empresa C.I



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Uniban adquirió la licencia a mediados de agosto del año 2021 con el fin de cumplir la normativa y facilitar al diseñador el trabajo de construcción tanto en ensambles como en planos del diseño.

- **Norma IC61131-3:** Es el tercer apartado de la norma de estándar internacional IC61131 la cual unifica los lenguajes de programación disponibles para la edición de los algoritmos de programación en el plc en solo cinco principales (Marin Sanchez, 2018).
- **Normativa de colores para tubería:** Según los estándares NECC3 que se rigen por la norma ANSI A 13.1 existe una normativa que unifica los colores determinados a la hora se instalarse tubería dentro de una planta industrial, con el objetivo de facilitar la identificación de los fluidos contenidos dentro de cada sistema de tuberías, a continuación en la figura 20 se visualiza la norma con mayor explicación (Codelco, 2016).

Clasificación de Materiales	Sub-clasificación	Color de fondo	Color de letras
MATERIALES DE ALTO PELIGRO INHERENTE	Líquidos o gases		
	* Inflamables o Explosivos * Químicamente Activos o Tóxicos. * Temperaturas o Presión Extrema	AMARILLO	NEGRO
	RADIOACTIVOS	PURPURA	AMARILLO
MATERIALES DE BAJO PELIGRO INHERENTE	Líquidos o mezcla de líquidos	VERDE	BLANCO
	Gases	AZUL	BLANCO
MATERIALES DE PROTECCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS	Agua, Espuma, Dióxido de Carbono, etc.	ROJO	BLANCO

Figura 20. Clasificación de tuberías según tipo de fluido. Fuente: (Codelco, 2016)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **Normas de trabajo en alturas:** Según el ministerio de trabajo con la resolución 4272 del año 2021 los trabajadores con actividades en alturas deben contar con capacitación previa y certificado que garantice dicha capacitación también debe contar con los elementos necesarios para cuidar su integridad personal como lo son el arnés o línea de vida, (Resolución , 2021).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

Capítulo II: Diseño de pieza mecánicas

El diseño de las piezas necesarias para la adecuación del equipo ACP-850 se divide en 6 componentes principales:

8. Soporte principal de equipo ACP-850.



Figura 21. Ensayo de papel con equipo en estado inicial. Fuente: Autor

Se inicia con el levantamiento del plano en campo donde se verifican las medidas entre el empalmador de papel y el equipo corrugador para determinar una posible ubicación del equipo (anexo 1) posteriormente se realiza el ensayo de la trayectoria del papel con el equipo en la hipotética área donde será acoplado con el resto de la producción, se analizan las razones de cambio

sobre la distancia en el eje Y que someten las láminas de papel con una altura inicial en la base del equipo de 300 mm (ver figura 21), luego se realizan análisis sobre una posible nueva medida de 700 mm de altura en la base principal anexando el cuerpo de un operador con altura general de 1.70 [m] para visualizar un correcto orden del espacio, este diseño se realiza usando *Solidworks* para ensamble del elemento estructural como se visualiza en la figura 22.

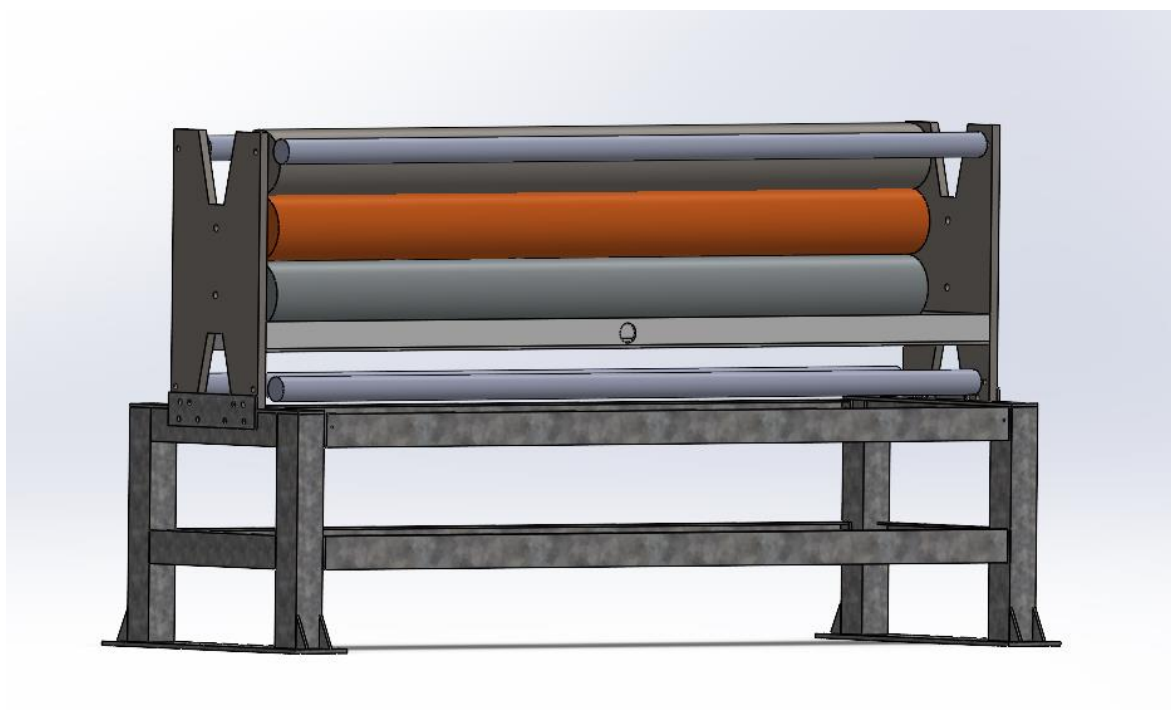


Figura 22. Ensamble de soporte con medidas de 700mm de altura. Fuente: Autor.

Con esta nueva altura en la base se observa un mayor espacio en la distancia que influye sobre el libre tránsito del operario a la hora de tener actividades de producción (ver anexo 2), se tiene una nueva medida del soporte que aumenta la altura de su base principal y con ello la altura de la



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



lámina en la razón de cambio de la distancia sobre el eje Y. Se realiza una reunión con el grupo interdisciplinar del proyecto donde son presentados los planos fabricados en el software *Solidworks* incluyendo las nuevas medidas y material acero ASTM A529 con acabado galvanizado para evitar la corrosión, ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa en anexo 3.

9. Soporte de equipos auxiliares

Teniendo en cuenta el espacio libre dentro de la planta se diseñan los soportes para los equipos auxiliares que se requieren para la implementación del dual arch, en este caso los equipos a utilizar de forma auxiliar en el proyecto serán dos bombas de diagrama sandpiper las cuales enviaran el adhesivo desde el tanque de almacenamiento principal hasta el equipo ACP-850 y viceversa.

- **Soporte de equipo auxiliar 2 (bomba suministro)**



Figura 23. Ensamble de soporte para equipo auxiliar 2. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Teniendo como referencia los soportes existentes se toma la decisión junto con el grupo interdisciplinar de la empresa, en manejar la misma dimensión de la estructura de los originales para mantener la uniformidad en la planta de producción con características de estética bajo un mismo perfil, se verifican las medidas de la bomba a utilizar y se logra diseñar un soporte con medidas de 745 mm de altura, 520 mm de ancho y 390 mm de fondo y se realiza el ensamble del diseño propuesto en el software *solidworks* con material ángulo de 2" calibre 1/8" galvanizado(ver figura 23). Ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa en anexo 4.

- **Soporte de equipo auxiliar 1(bomba retorno)**

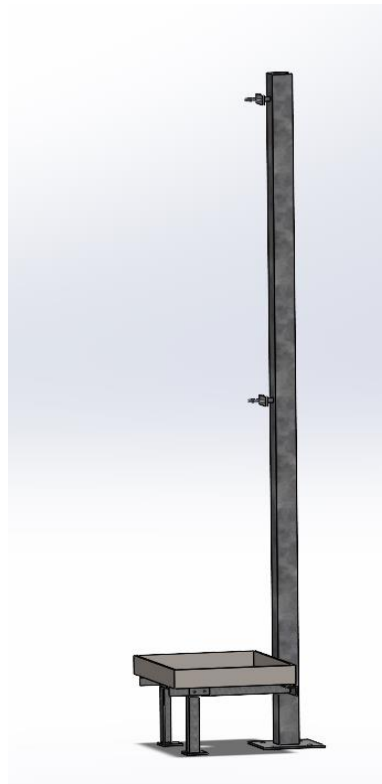


Figura 24. Ensamble de soporte para equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Se parte desde el análisis del área en la planta de producción ya que esta pieza está acoplada con la salida de la cabina de corrugación, también se tiene en cuenta la altura del soporte para ajustar la tubería que desciende del rack de servicios y llega al equipo principal así como las medidas de la bomba sandpiper que envía el adhesivo extra nuevamente al tanque principal de almacenamiento, es así como se construye el diseño propuesto en solidworks como ensamble general del modelo (ver figura 24) y se fabrican los planos correspondientes y son presentados al grupo interdisciplinar del proyecto donde se toma la decisión de fabricar un soporte de 3400 mm de altura en la torre principal que soportará la tubería en material perfil cuadrado de (100x100)mm de calibre 3/16” soldado simétricamente al soporte donde se instalará el equipo auxiliar el cual cuenta con material de construcción ángulo 2” calibre 1/8” ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa, ver anexo 5.

10. Soportes de tubería

Para el diseño se prepara un estudio preliminar del espacio disponible dentro del rack de servicios el cual es una estructura reglamentaria en la planta para adecuar trayectorias de tuberías de servicio, se determina un espacio de 90 mm a lo ancho de la estructura y un espacio de 160mm entre el nivel donde se instala la tubería y el siguiente nivel, además se tiene que el material con el que está construido el rack es acero al carbono con acabado galvanizado en caliente por lo cual el diseño no debe contar con agujeros anexos al soporte existente ya que este tipo de material al ser



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



galvanizado en caliente no permite perforaciones en la estructura para no perjudicar las propiedades de este tipo de acabado.

Dentro del esquema para instalación de tuberías para transporte de adhesivo en fábrica de cajas se cuenta con un protocolo que incluye la instalación basado en pendientes negativas dependiendo del lugar a llegar, ya que la viscosidad del químico a transportarse es altamente densa el protocolo evita la acumulación y obstrucción de la tubería en el rack de servicios dentro de los módulos a recorrer, ya que la gravedad facilita la transferencia por medio de los impulsos enviados a través de los equipos auxiliares. Las especificaciones mínimas del diseño debe contar con una pendiente mínima de 0.001 % y se detalla la instalación de dos líneas en tuberías, con distancias entre el equipo principal y el tanque de almacenamiento sobre 16 racks para tubería de retorno los cuales cuentan con una distancia entre ellos de 2.3 [m] para un total de 38[m] desde el equipo hasta la entrada al cuarto de preparación del adhesivo y con un total de 19 racks entre el equipo y la entrada a la planta de preparación totalizando una distancia aproximada de 43[m] para la tubería de suministro es por esto que se diseña un soporte usando el software *solidworks* con estilo *sándwich* para instalación de tubería suministro del adhesivo con una altura máxima de 130 [mm] y mínima de 20[mm] en donde se realizan respectivamente los cálculos basados en las fórmulas de pendiente y se concluye una pendiente de 0.002% (ver cálculos en anexo 6) para ambas instalaciones con la única diferencia que cada línea cuenta con una altura mínima diferente, ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa en anexo 7.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

11. Bandeja de aguas residuales principal

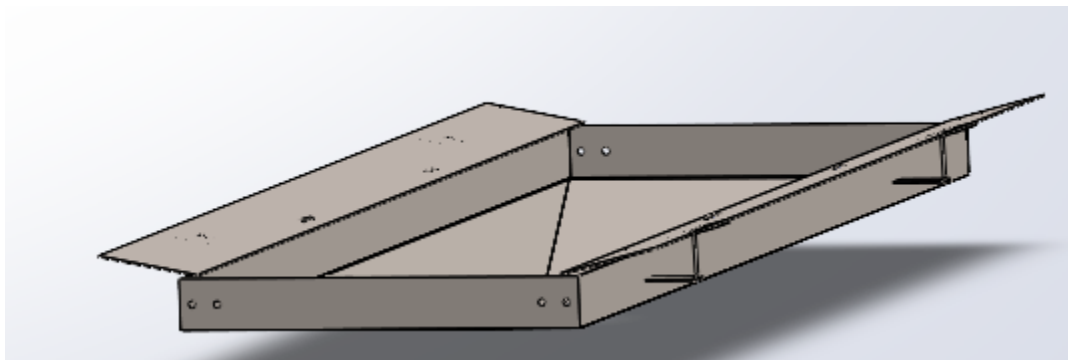


Figura 25. Ensamble de bandeja de aguas residuales para equipo ACP-850. Fuente: Autor.

La bandeja de aguas residuales cumple con la funcionalidad de abrazar la mayoría del agua que influye dentro de las limpiezas que se realizan semanalmente dentro de la planta, al ser un equipo expuesto se generan problemas de humedad en los equipos que se encuentran cerca como lo son los empalmadores que cuentan con gran cantidad elementos electrónicos, es por esto que se diseña una bandeja modular usando el software *solidworks* (ver figura 25), que abarca el espacio total del frame de la maquina con un diseño de compuestas que evitan los regueros para impedir la humedad sobre el suelo esta zona, ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa, ver anexo 8.

12. Bandeja de aguas residuales bomba retorno

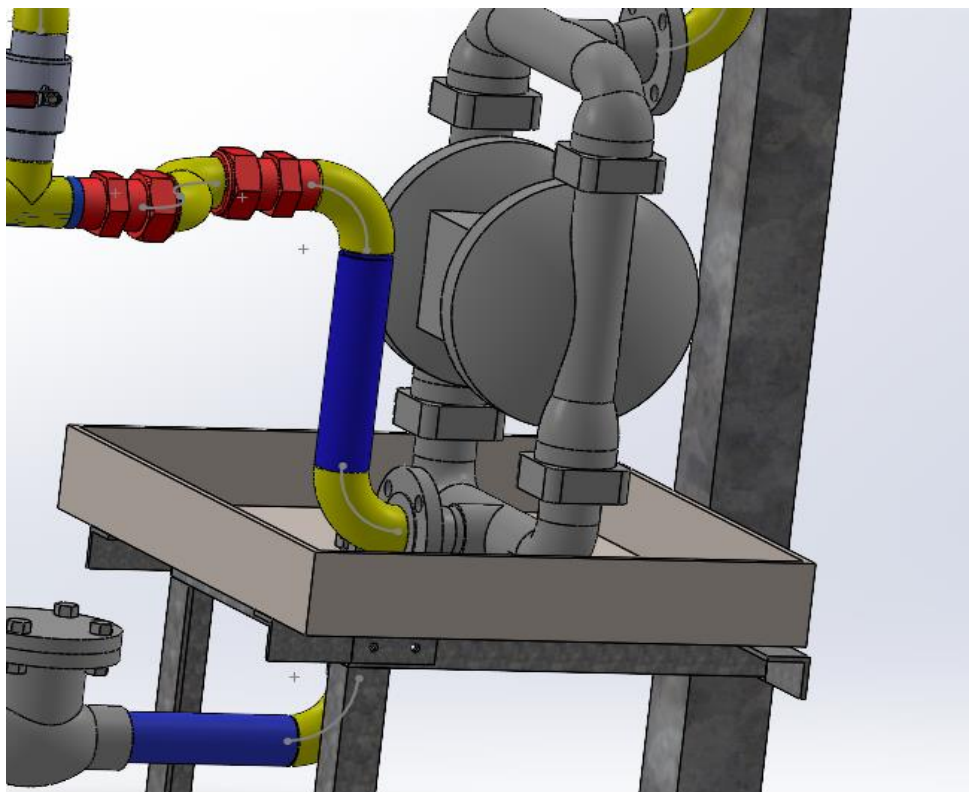


Figura 26. Ensamble de bandeja de aguas residuales para equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.

Como el equipo auxiliar también se encuentra expuesto a la humedad de la limpieza, se diseña una bandeja modular usando el software *solidworks* (ver figura 26) para abarcar la limpieza de la bomba y la humedad del suelo. Ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa, remítase al anexo 9.

13. Limitadores de adhesivo

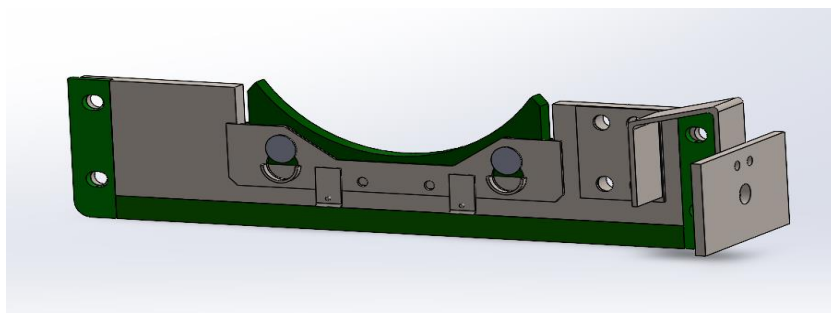


Figura 27. Ensamble de diseño limitador de adhesivo. Fuente: Autor.

Para el uso del equipo es necesario realizar diseño sobre limitadores de adhesivo, con el fin de evitar la impregnación del químico en los bordes generando un modelo modular (ver figura 27) usando teflón y acero inoxidable. El teflón evitar que tanto las paredes de la bandeja como la superficie del rodillo se rayen con el desplazamiento y el acero inoxidable además de proporcionar rigidez en la estructura evita el óxido ya que este elemento se encuentra dentro de la bandeja principal junto con el adhesivo preparado, ver planos avalados por el asesor técnico de la empresa, anexo 10.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Capítulo III: Simulación en análisis de elementos finitos en solidworks

El equipo ACP-850 cuenta con un peso de 1300 kg (sin tener en cuenta la base principal) según el manual suministrado por el fabricante por lo cual el diseño debe contar con una resistencia mínima de 12740 [N] sin embargo las fuerzas del peso estarán distribuidas uniformemente en dos puntos principales en los cuales descansarán los frame del equipo a la base principal por lo cual es correcto realizar el análisis de uno de los dos apoyos con la mitad de la carga teniendo en cuenta la simetría con la cual se reparte el peso y los esfuerzos del equipo principal, en la figura 28 se observa el ensamble analizar con material acero ASTM A529 grado 50 con acabado galvanizado y una carga de 6370[N]

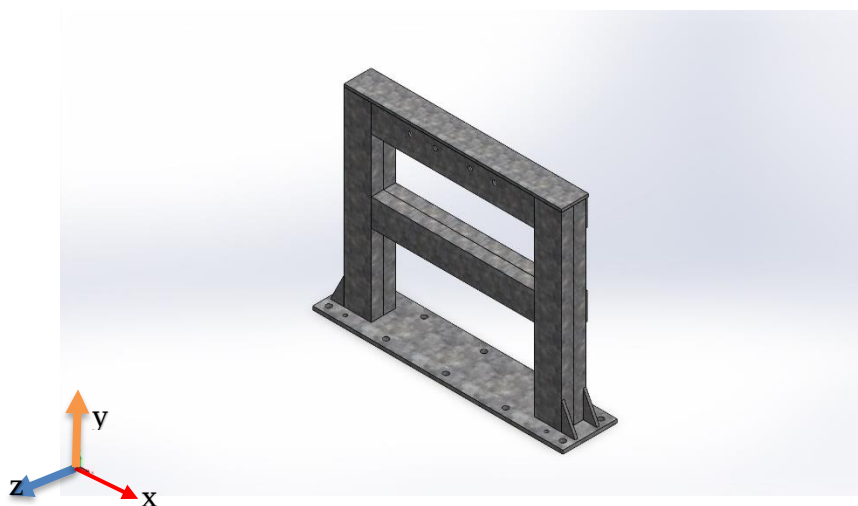


Figura 28. Estructura de soporte principal a analizar. Fuente: Autor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Luego de seleccionar la estructura a analizar se realiza el proceso de preparación previa por medio de puntos jacobianos para la creación de una malla solida la cual une las ecuaciones de cada sección con un numero de 16 puntos, y así lograr iniciar con el proceso de simulación, en la tabla 3 se observan a detalle las propiedades de la malla establecida.

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	32.2185 mm
Tolerancia	1.61092 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Tabla 3. Propiedades de malla en análisis realizado. Fuente: Autor.

14. Especificaciones del acero ASTM A529

Generalmente este acero es usado para la fabricación de perfiles, placas, barras, para uso de construcción de edificios o estructuras atornilladas, soldadas y en general.

15. Propiedades mecánicas

Teniendo en cuenta que $1 \frac{N}{M^2} = 1$ pascal tenemos la tabla N°4 donde se visualizan las propiedades mecánicas correspondientes a acero ASTM A529 grado 50 material correspondiente a la estructura mecánica interna de los perfiles tanto en C, como cuadrados que fueron usados para la construcción de la base principal del equipo ACP-850, (FERROBEND, 2008).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

	Grado 50 [345]	Grado 55 [380]
	ksi [MPa]	ksi [MPa]
Resistencia a la tracción, mín.	70B [485]	70 [485]
Resistencia a la tracción, máx.	100 [690]	100 [690]
Límite elástico, mín.	50 [345]	55 [380]
Elongación en 8 pulg. [200 mm], mín, %	18	17
Elongación en 2 pulg. [50 mm], mín, %	21	20

Tabla 4. Propiedades mecánicas de acero ASTM A529. Fuente: (FERROBEND, 2008)

16. Análisis de esfuerzos y deformaciones

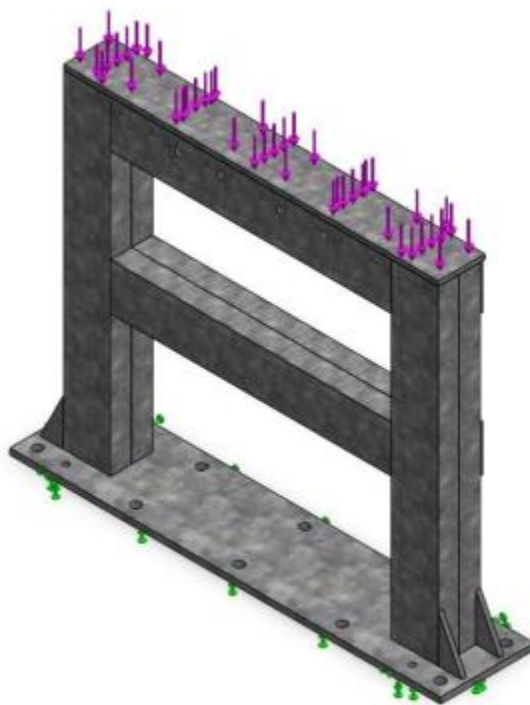


Figura 29. Análisis estático de soporte principal. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Este análisis es de suma importancia a la hora de diseñar elementos que requieran una estructura sólida para soportar altas cargas, en ingeniería se analiza de forma predictiva si los elementos o materiales involucrados en el diseño cumplen con el requisito mínimo para evitar llegar al fallo; es por esto que se realizó la simulación en el software solidworks donde en la figura 29 se visualizan las cargas distribuidas uniformemente sobre la estructura como resultado y se inicia el análisis estático para estimar los valores mínimos y máximos de los siguientes esfuerzos y factor de seguridad:

Deformación:

“El esfuerzo es una fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica, existen esfuerzos de tensión, flexión, compresión y cortantes.” (Johnson, Dewolf, & Mazuke, 2010)

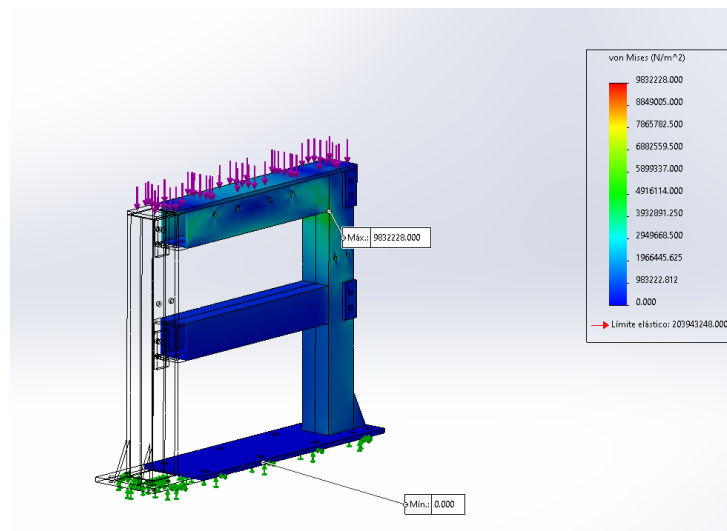


Figura 30. Análisis estático deformación de soporte principal. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Posteriormente al realizar la simulación de las cargas y las reacciones que inferen en la estructura el análisis que dio como resultado en el estudio de von mises el indicador de fallo para el material acero al carbono ASTM A529, según la estructura diseñada y el material establecido la base cuenta con un valor máximo de deformación $9832.228 \text{ M} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$ con un límite elástico de $2,01 \text{e}^{-2} \text{ mm}$, remítase a la figura 24 para ver los resultados del estudio.

Desplazamiento:

“Es el esfuerzo en el que un material exhibe una deformación permanente especificada y es una aproximación práctica de límite elástico.” (Johnson, Dewolf, & Mazuke, 2010).

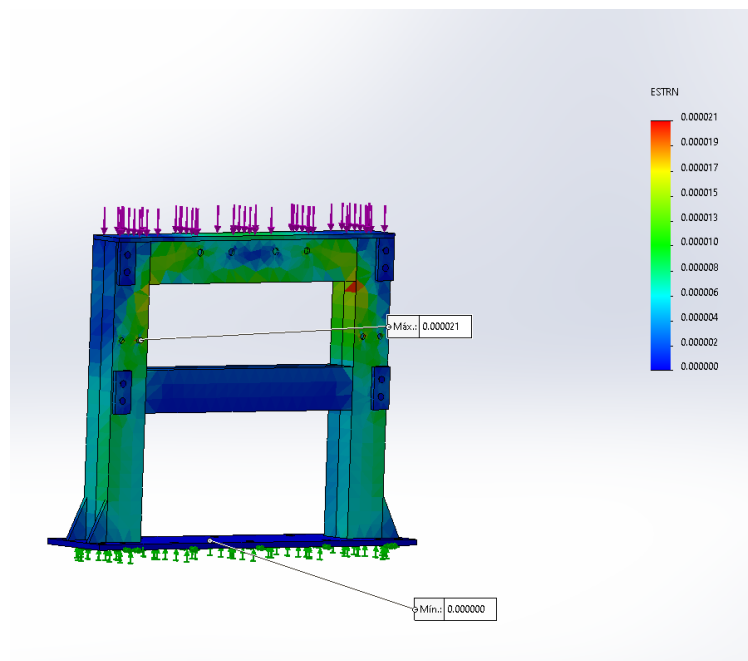


Figura 31. Análisis estático desplazamiento de soporte principal. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co

Al iniciar con la simulación y analizar los desplazamientos con los que puede llegar a contar la estructura se visualiza un desplazamiento mínimo de 0.00002 mm como se visualiza en la figura 31 sobre los agujeros de ajuste a las barras principales, por lo cual se concluye un desplazamiento insignificante en la fabricación del elemento.

Factor de seguridad

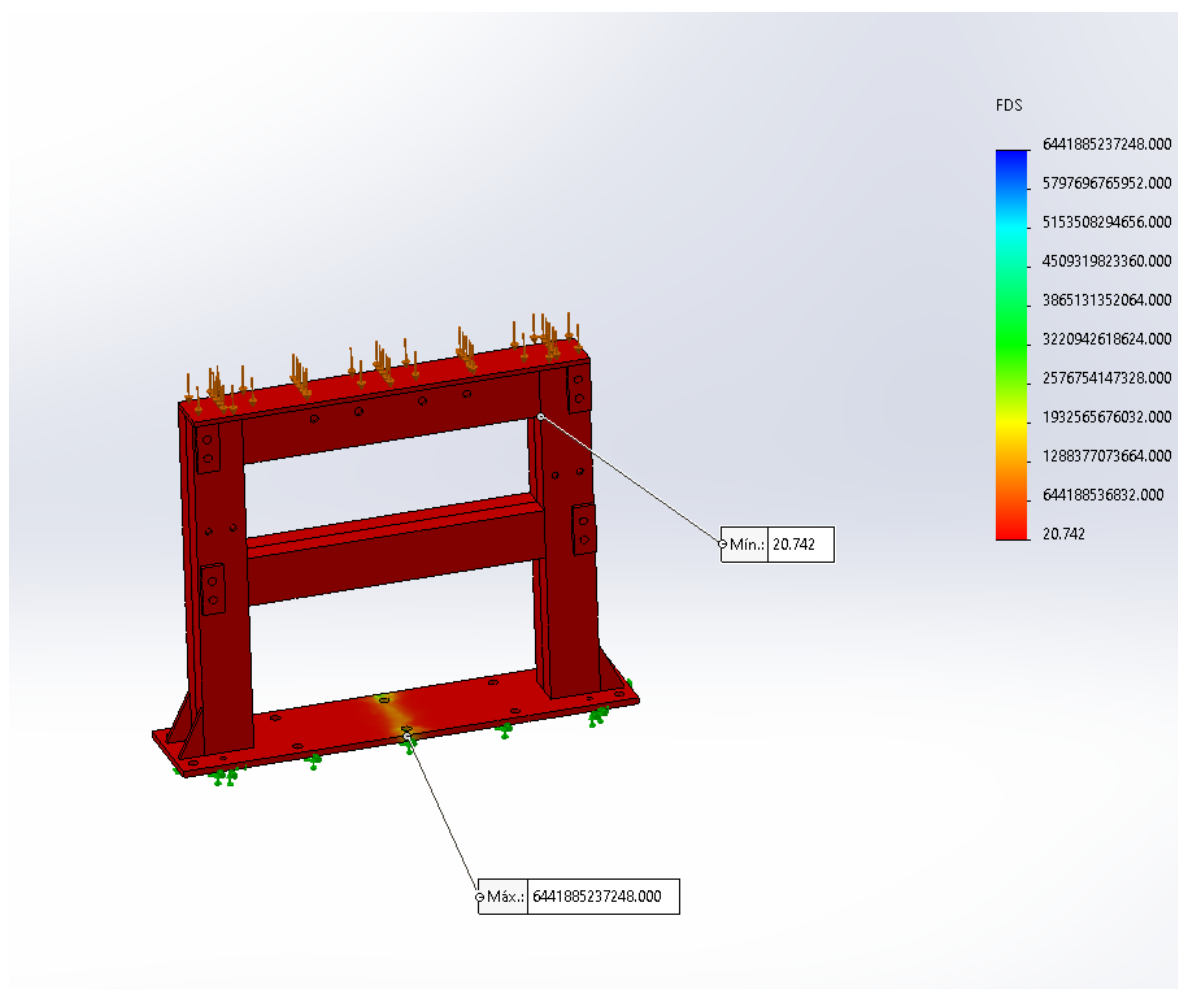


Figura 32. Análisis estático factor de seguridad de soporte principal. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Según la teoría para garantizar una estructura robusta es necesario que su factor de seguridad que incluye el estudio de las fuerzas que se aplican en el elemento por unidad de área sea mayor a 1 para garantizar que la estructura cumplirá con los requisitos de fuerza necesaria a aplicar sin llegar a la ruptura. Como se visualiza en la figura 32 el diseño realizado con acero ASTM A529 el cual pertenece al material de los perfiles que componen todo el sistema cuenta con un factor mínimo de seguridad de 20 lo que evidencia un soporte rígido de la estructura diseñada.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Capítulo IV: Fabricación e instalación de piezas mecánicas

Después de realizadas las reuniones con el grupo interdisciplinar que lleva a cargo el proyecto internamente en la empresa, se seleccionan las empresas a las cuales se procede con la fabricación de las piezas según los planos previamente contruidos, internamente se inicia el proceso de *Cartas contrato* en C.I Uniban con un documento en donde se verifica con las empresas contratistas el costo del contrato, delimitaciones, tiempos de entrega y formas de pago. Las empresas fabricantes con las cuales se determina la fabricación de las respectivas piezas son:

- **Darruzén.** Es empresa encargada de realizar la fabricación de las piezas: Soporte principal, soportes de equipos auxiliares, para visualizar los resultados de la fabricación ver figura 33 que fueron previamente cotizados mediante la cata contrato adjunta en el anexo 11.



Figura 33. Diseños fabricados por la empresa *Darruzén*. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **HRV.** Es empresa encargada de realizar la fabricación de las piezas: bandeja de aguas residuales bomba de retorno y limitadores de adhesivo, para visualizar los resultados de la fabricación ver figura 34 que fueron previamente cotizados mediante la cata contrato adjunta en el anexo 12.



Figura 34. Diseños fabricados por la empresa HRV. Fuente: Autor.

- **Serviросcas.** Es empresa encargada de realizar la fabricación de la pieza ya que cuenta con el equipo necesario para realizar los dobles estilo diamante que requiere el diseño: bandeja de aguas residuales a equipo principal, para visualizar los resultados de la fabricación ver figura 35 que fueron previamente cotizados mediante la cata contrato adjunta en el anexo 13.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!

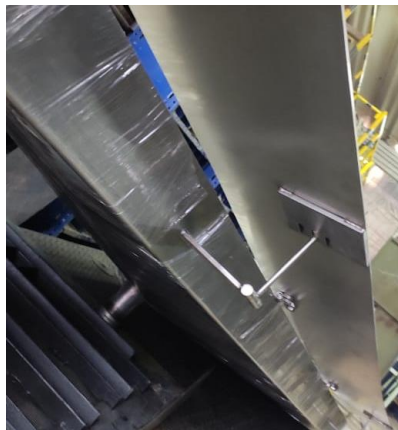


Figura 35. Diseños fabricados por la empresa *Serviroscas*. Fuente: Autor.

- **Asileec:** Es empresa encargada de realizar la fabricación de las piezas soportes de tuberías e instalación de tuberías, clamps, soldadura en el rack de servicio y conexión al tanque principal, para visualizar los resultados de la fabricación ver figura 36 que fueron previamente cotizados mediante la cata contrato adjunta en el anexo 14.

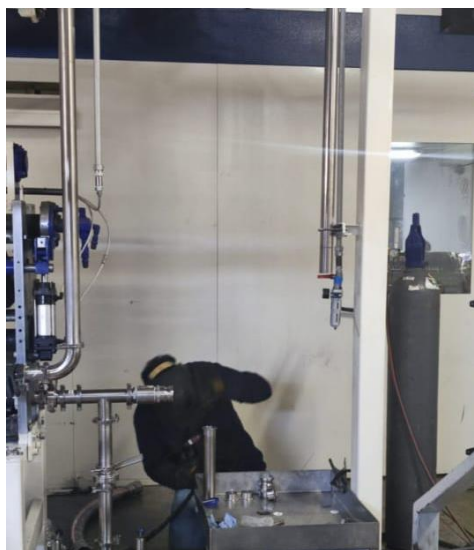


Figura 36. Diseños fabricados por la empresa *Asileec*. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Debido a la complejidad de cada diseño todas las empresas cuentan con tiempos de entregas distintos por lo cual el primer diseño entregado fue el soporte principal del equipo y soportes de quipos auxiliares, estos soportes al estar anclados al suelo requieren un montaje especial particularmente el soporte del equipo principal ya que la maquina debe cumplir con las normas de paralelismo con la que cuentan todos los rodillos dentro de la producción y nivelación sobre el suelo con esto se evita desajustes y pérdida de calidad en la producción por lo cual se realiza el contrato de instalación con la empresa *Construcciones M&M*, (ver carta contratos en anexo 15) la cual suministra los materiales necesario y mano de obra para realizar dicho trabajo en conjunto con el ingeniero de mantenimiento a cargo de la instalación. Ver evidencias de instalaciones en resultados.

17. Instalación de soporte principal

Para la instalación de equipos con un peso mayor a 1000 KG existen normativas para la seguridad de los trabajadores durante la instalación es por esto que antes de realizar las actividades de instalación para la nueva base del equipo se requiere el aval previo del que está a cargo de los seguros en el ARL en donde esté avala el procedimiento dentro del plan de trabajo a realizarse (ver nexos 17) y las medidas de seguridad que requiere la instalación, en la figura 37 y 38 se observan los correos de evidencia en donde el auxiliar del departamento de mantenimiento realiza la solicitud y respectivamente se recibe la respuesta como aval al plan de trabajo a realizarse durante actividades de mantenimiento y respectivamente instalación de la base principal.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Figura 37. Correo enviado a abogada de ARL con plan de montaje al soporte principal.
Fuente: Autor.

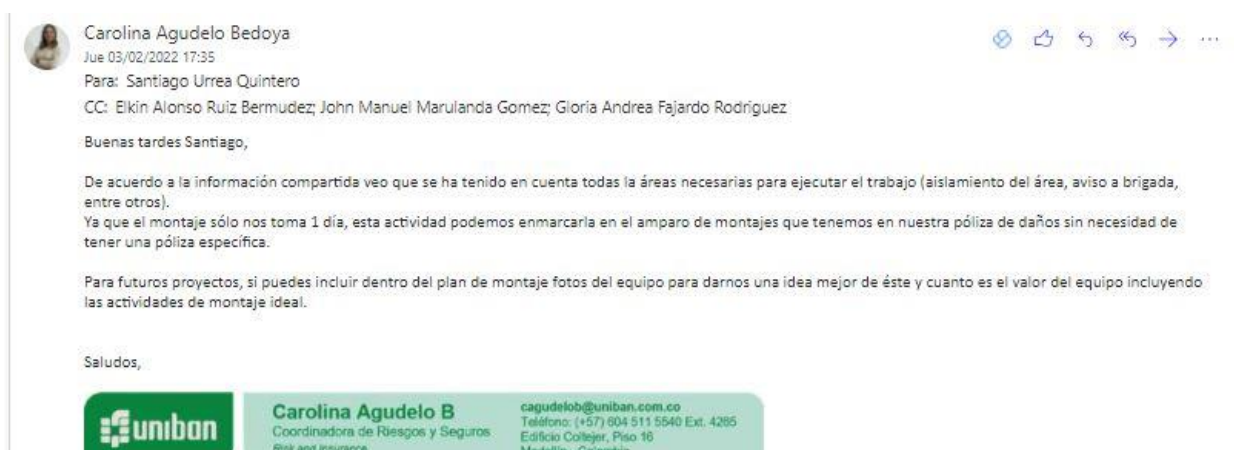


Figura 38. Correo respuesta de aprobación. Fuente: Autor.

Durante la instalación estuvo presente personal de mano de obra suministrada por la contratista *Construcciones M&M* quienes coordinaron el proceso de alineación junto con personal del equipo perteneciente al departamento de mantenimiento como se observa en la figura 40 con supervisión



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

del directa del diseñador para el correcto cumplimiento del análisis del espacio y el plan de montaje, ver figura 39 donde se visualizan las evidencias de las indicaciones por parte del ingeniero a cargo.

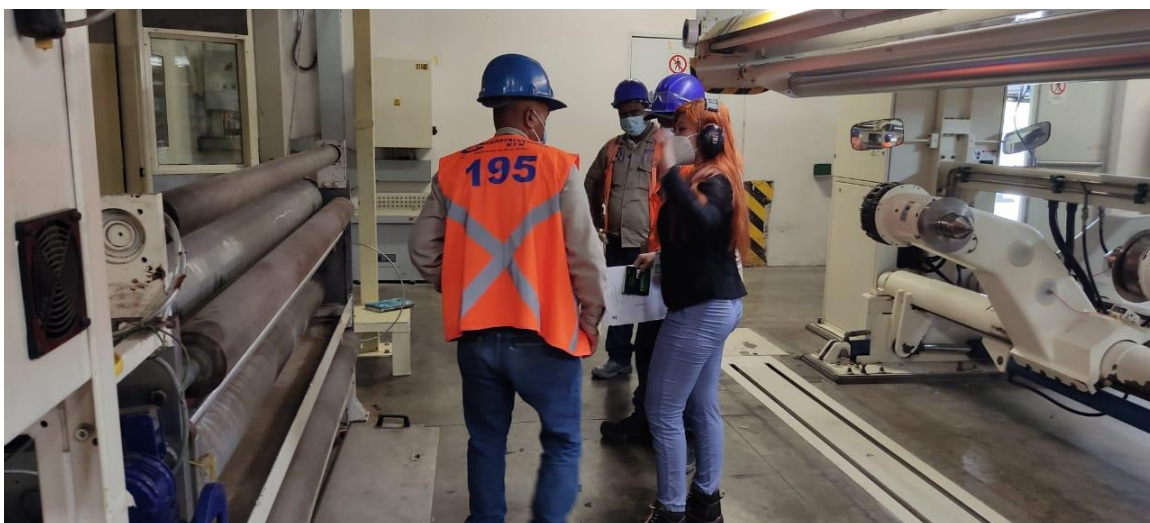


Figura 39. Empresa contratista recibiendo indicación de instalación. Fuente: Autor.



Figura 40. Empresa contratista M&M realizando planeación de instalación. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Luego de realizada la logística para la instalación se procede a ubicar el equipo en los espacios indicados para el anclaje del soporte en donde se realiza un estudio de nivel como se observa en la figura 41 para posteriormente fijar la base con mortero (material especial para nivelar espacios en el suelo) y platinas subterráneas para garantizar que los rodillos de la maquina estén totalmente nivelados durante la producción, ver figura 42 para visualizar la comparativa de la nueva base.



Figura 41. Empresa contratista M&M realizando instalación. Fuente: Autor



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 42. Comparativa de soporte antiguo vs actual. Fuente: Autor.

18. Mantenimiento de equipos auxiliares

El proceso que se requiere para implementar el estilo de caja dual arch conlleva a la instalación de dos equipos auxiliares que en este caso son bombas neumáticas sandpiper que realizan la succión y descarga desde el tanque principal hasta la bandeja de equipo para mantener el flujo constante del químico adhesivo y así evitar pasteurización durante la aplicación, por lo cual se toman bombas existentes en el almacén de la planta fuera de servicio para la adecuación como se observa en la figura 43.



Figura 43. Equipo auxiliar 2(bomba sandpiper) antes de realizar mantenimiento. Fuente: Autor.

Después de verificar el estado de los equipos y evaluar el funcionamiento se realiza la solicitud de mantenimiento para la estética y aplicación de químicos anticorrosivos para dar más vida útil durante la producción, para visualizar el estado de los equipos después del mantenimiento visualizar figura 44.



Figura 44. Equipo auxiliar 1 y 2 (bombas sandpiper) después de realizar mantenimiento. Fuente: Autor.

Una vez realizado el mantenimiento de los equipos auxiliares se procede a instalar los soportes que fueron fabricados por la empresa *Darruzén*, así mismo se tiene en cuenta para cada soporte a instalar materiales que eviten la corrosión de la estructura y acabados que brinden mayor durabilidad en el material, en la figura 45 y 46 se visualiza la evidencia el resultado final de la instalación para los soportes necesarios en el anclaje de los equipos auxiliares.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Figura 45. Instalación de soporte a equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.



Figura 46. Instalación de soporte a equipo auxiliar 2. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Se realiza el respectivo anclaje teniendo en cuenta que los equipos están expuestos a altas vibraciones y necesitan un anclaje que brinde la seguridad necesaria para la fijación de cada equipo, en la figura 47 y 48 se visualiza el anclaje de cada equipo a los soportes previamente instalados.



Figura 47. Instalación equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.



Figura 48. Instalación equipo auxiliar 2. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



19. Instalación de tubería desde el equipo hasta el tanque principal de adhesivo

Inicialmente para realizar una correcta instalación de la tubería tanto de suministro como de retorno es necesario garantizar la pendiente solicitada por el jefe inmediato, esto para evitar la pasterización dentro de las tuberías y así tener mayor flujo por gravedad, ya que los equipos que transportan el adhesivo funcionan mediante impulsos para el transporte a través de toda la trayectoria, es por esto que se instalan soportes adicionales en la estructura denominada *RACK* en donde están ubicadas todas las tuberías de servicio de la planta. Los soportes que se visualizan en las Figuras 49 y 50 representan la razón de cambio en la altura de cada instalación a través de cada módulo (para obtener mayor información de cómo se organiza el rack de servicios y el trazado de la tubería dentro de la planta, ver anexo 18) para cumplir con el grado de pendiente según el servicio de la tubería ya sea alimentación o retorno hasta el tanque principal



Figura 49. Instalación de soportes para tubería en rack de servicio módulo 8. Fuente: Autor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Figura 50. Instalación de soportes en rack de servicio módulo 11. Fuente: Autor.

La instalación en el *Rack* de servicios se inicia el procedimiento para la instalación de las tuberías dentro de la planta donde está instalado el tanque de preparación principal y la conexión a la bandeja de adhesivo del equipo ACP-850. Para llevar a cabo la instalación se ajusta la tubería de bajada aprovechando la torre del soporte para el equipo auxiliar 1 como se observa en la figura 51, donde los trabajos son realizados por la empresa *Asileec*.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Figura 51. Instalación de tubería de alimentación en equipo ACP-850. Fuente: Autor.



Figura 52. Instalación de tubería bajando del rack principal. Fuente: Autor.

Una vez terminada la instalación de la tubería en el área donde estará instalado el equipo principal se realiza la conexión de mangueras para químico entre la tubería y el equipo auxiliar 1 para disminuir la vibración a la hora de la puesta en marcha, se instala la conexión neumática aprovechando la existencia de la tubería neumática principal cerca



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

de la zona de instalación para visualizar los resultados de este montaje visualice las figuras 53, 54, 55 y 56.



Figura 53. Instalación completada de tubería en equipo dual arch. Fuente: Autor.



Figura 54. Instalación de tubería en retorno de adhesivo con conexión neumática a equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.



Figura 55. Instalación neumática a equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.

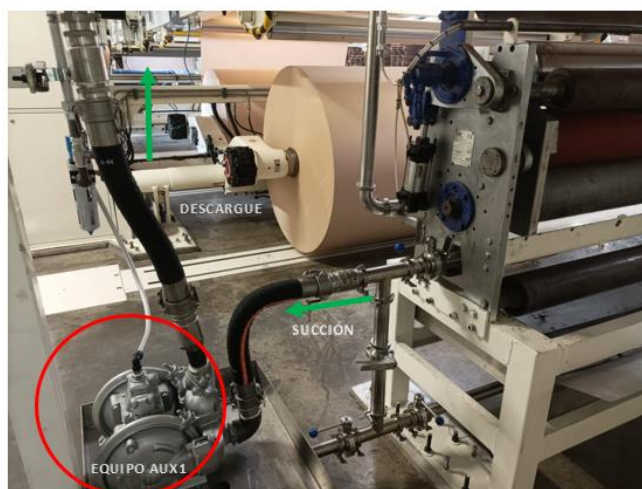


Figura 56. Instalación tubería de succión y descargue en equipo auxiliar 1 con conexión a bandeja de adhesivo. Fuente: Autor.

Luego de finalizar la instalación de la tubería y otras adecuaciones para dejar totalmente en funcionamiento el equipo auxiliar 1, se pasa a la etapa de estación de tuberías dentro del espacio denominado “*Planta de gomas*” donde se realiza el proceso de preparación del adhesivo usado para la fabricación de cajas de cartón, Allí se procede a la instalación de las tuberías tanto de retorno

como de suministro las cuales van conectadas como se visualiza en la figura 57 tanto al tanque principal, como al dosificador y el tanque lavados. El flujo del químico está controlado mediante válvulas mariposa instaladas a la entrada de cada uno de los tanques para garantizar así el buen funcionamiento durante la puesta en marcha y también controlar adicionalmente los lavados semanales dentro de la tubería.



Figura 57. Instalación tubería retorno a tanque principal, tanque de lavado y dosificador.
Fuente: Autor.

El tanque denominado *Dosificador* es el encargado de suministrar en cantidades controladas el adhesivo a través de toda la planta, es por esto que el equipo auxiliar 2 se conecta directamente al tanque dosificador para succionar el químico y enviar un impulso de descarga a través de la trayectoria hasta llegar a la bandeja del equipo ACP-850, para visualizar la conexión en el equipo auxiliar 2 ver figura 58.

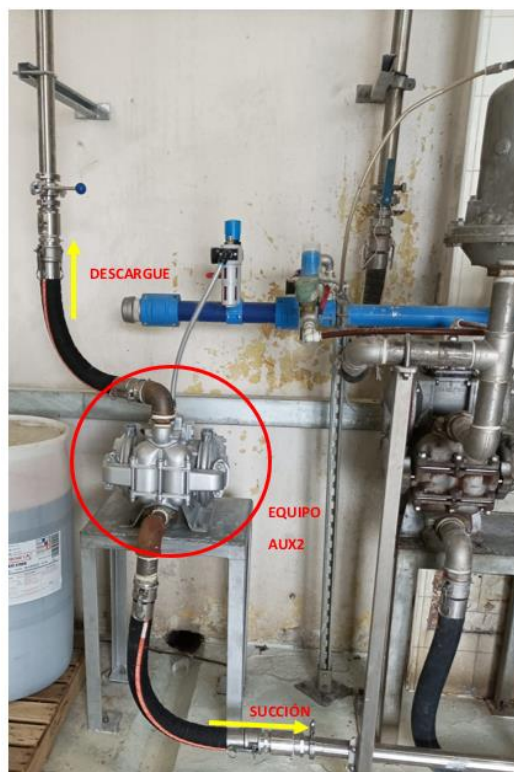


Figura 58. Instalación tubería de succión y descargue en equipo auxiliar 2. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



20. Instalación de bandeja de aguas residuales principal

Aprovechando el Diseño modular tanto de la bandeja como del soporte principal se realiza la instalación de la bandeja de aguas residuales dentro del espacio adecuado en el soporte, donde cuenta con 4 puntos de fijación de cada esquina que previamente se prepararon durante la fabricación del soporte, para visualizar el resultado de la instalación observe la figura 59.



Figura 59. Instalación bandeja de aguas residuales a equipo ACP-850. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

21. Instalación de bandeja de aguas residuales a equipo auxiliar

En la instalación de bandeja de aguas residuales diseñada para el equipo auxiliar 1, se realiza la sujeción mediante tornillos que están ajustados directamente a la base del equipo; con esto se garantiza una bandeja modular con la opción de montar y desmontar fácilmente a través de tuercas y tornillos. Para visualizar la instalación de la bandeja de aguas residuales observe la figura 60.



Figura 60. Instalación de bandeja de aguas residuales a equipo auxiliar 1. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



22. Instalación de limitadores de adhesivo

La pieza a instalar es totalmente modular por lo cual se ajusta dentro de la bandeja de adhesivo antes de iniciar la puesta en marcha se debe ajustar los limitadores de forma manual en las distancias necesarias según el ancho de papel a usar en la producción, para visualizar la instalación ver figura 61.



Figura 61. Instalación de limitadores de adhesivo. Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Capítulo V: Sistema de control

23. Descripción de variables que influyen en el proceso

Mediante el uso del manual del fabricante Cartel S.A para el equipo ACP-850 de la empresa Cartel S.L, donde se describe su función principal de aplicar parafina de forma continua para un proceso de impermeabilización del papel en una línea de producción. Se inició con el proceso de caracterización del sistema eléctrico del equipo con los planos adjuntados en el manual (ver anexo 16). Se identificaron los principales actuadores, variables de control en el equipo, entradas y salidas para posteriormente diseñar un algoritmo de control que pueda ser simulado. Los componentes de control que fueron identificados y analizados eléctrico fueron:

- **Micro master 440:** Es un convertidor de frecuencia de la empresa Siemens diseñados especialmente para modificar la velocidad de motores trifásicos con control en rangos de potencia desde 75W hasta 120 W, cuenta con una pequeña interface para realizar ajustes de programación y utilizar opciones avanzadas de control, también cuenta con una capacidad de 4 entradas análogas y 6 entradas digitales más 4 salidas análogas, para visualizar el variador físicamente remítase a la figura 62.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 62. Variador de frecuencia Siemens micro master 440. Fuente: Autor.

- **PLC Siemens S7-300:** Dentro de la gama de controladores lógico programable de Siemens este plc se encuentra en gama media con la posibilidad de usar micro memoria card y con programación modular, ver figura 63.



Figura 63. Plc Siemens S7-300. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **Motor trifásico:** Con una velocidad máxima de 1410 rpm y potencia de 2.2 KW cuenta con un consumo de 5.1A el motor trifásico con el que cuenta el equipo está acoplado al rodillo aplicador de adhesivo (ver figura 64) el cual mediante control a través del variador de frecuencia iguala la velocidad de aplicación con respecto a la velocidad del papel que se mide por medio del tacogenerador en la parte superior.



Figura 64. Motor trifásico acoplado a rodillo aplicador. Fuente: Autor.

- **Tacogenerador:** Con una capacidad de lectura para velocidades máximas de 1000 RPM cuenta con una alimentación de 10V con salida analógica que está conectado al rodillo superior y se encuentra libre al movimiento; Cuando hace contacto con la línea de producción en las láminas de papel este rodillo sigue la velocidad del papel y capta su lectura como se visualiza en la figura 65.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 65. Tacogenerador acoplado a rodillo superior. Fuente: Autor.

- **Encoder Mohner:** Este dispositivo cuenta con 10 salidas digitales las cuales realizan la lectura de la posición para el gap entre el rodillo de presión y el rodillo aplicador, con la lectura de este valor se puede controlar manualmente la película del adhesivo mediante la manivela que se visualiza en la figura 66.



Figura 66. Encoder acoplado a rodillo de prensa. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Luego de realizar el análisis del sistema eléctrico y la identificación de funcionamiento para cada uno de los elementos de control, se realizó un estudio de entradas y salidas necesarias para la propuesta que se planteó con apoyo del equipo de electrónica y electricidad de la empresa. Durante el planteamiento de la mejora se descartó la posibilidad de realizar la propuesta con el PLC *Siemens s7-300* ya que *Siemens* cuenta con software especial en cada modelo para la edición del algoritmo de control y éste genera un costo representativo a la empresa, por lo cual se analiza la posibilidad de usar el PLC *UNITRONIC VISION V570-57-T20B* ya que cuenta con software libre para la edición del desarrollador y se encuentra disponible como equipo de repuesto en el almacén del área. Se analiza las entradas y salidas necesarias para la propuesta y se toma como modelo de referencia el módulo

24. Descripción del algoritmo de programación

Usando el lenguaje ladder se realizó el diseño de un programa capaz de simular las entradas y salidas análogas del sistema como lo son: lectura del gap, lectura de velocidad del papel, control del motor trifásico por medio del variador de frecuencia y se le anexaron las nuevas variables para los motores que fueron acoplados a la simulación del sistema limitador de adhesivo con diseño semiautomático y sensores de proximidad.

En la figura 67 se visualiza la primera etapa del programa en donde se toma la lectura del tacogenerador que me indica la velocidad inicial a la que entra el papel en la máquina, así mismo el algoritmo toma el valor analógico inicial dado por el tacogenerador y lo convierte en valores de



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

bit (este proceso se realiza para lograr simular el funcionamiento real del plc en la puesta en marcha de la interfaz HMI) para posteriormente enviar un valor en rpm a la pantalla convertido mediante linealización, además internamente en el algoritmo se realiza la simulación de la transferencia entre el variador de velocidad y el plc en donde entran valores de bit y tienen como salida hacia el variador valores en intervalos de corriente de 4 mA a 20 mA.

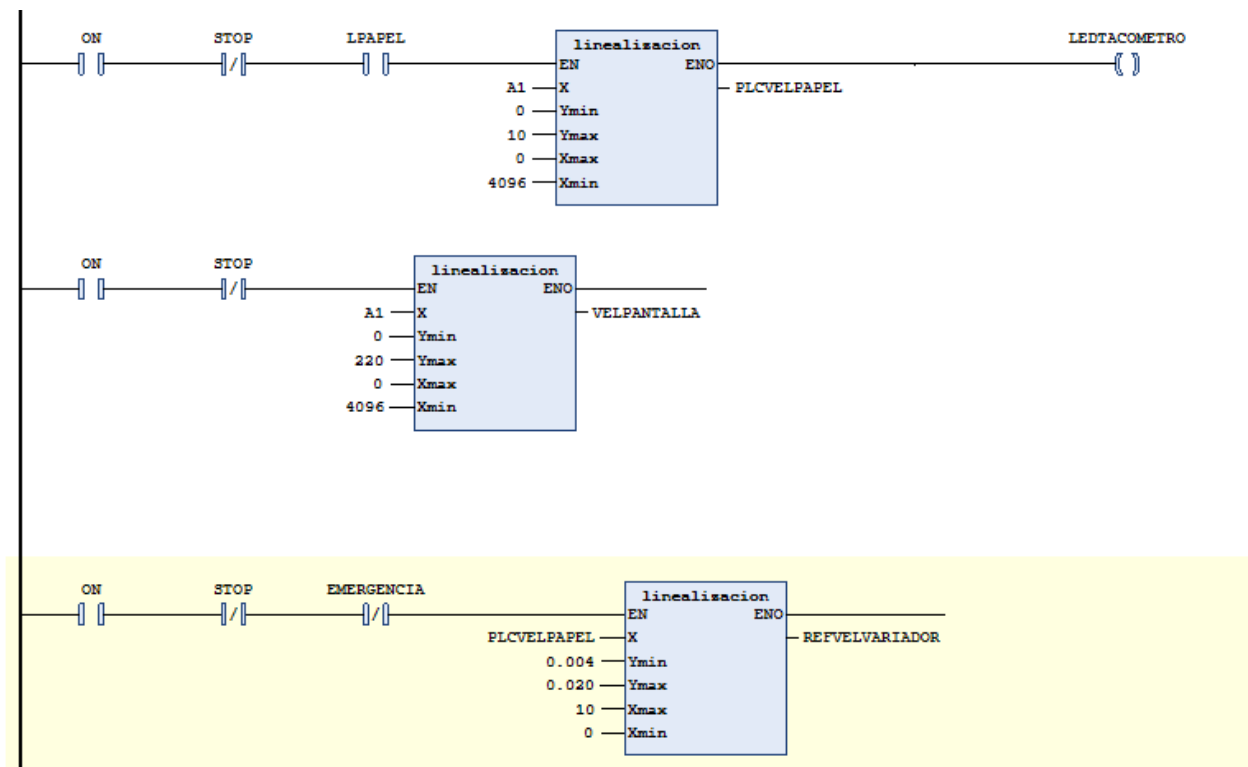


Figura 67. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.

Una vez obtenido el valor normalizado en valores a corriente se realiza nuevamente una linealización para obtener un valor en bit esto para simular la retroalimentación de la referencia del

variador al plc, luego se realiza la conversión de este valor para tener una escala en rpm que será mostrada en pantalla durante la simulación de la interfaz, ver figura 68 en donde el algoritmo realiza este proceso descrito, así mismo en las últimas líneas del lenguaje escalera se realiza el control sobre la velocidad del actuador que en este caso es el motor del rodillo aplicador el cual debe seguir la velocidad del papel con el valor del tacogenerador que en las anteriores líneas se menciona; este actuador solo se encenderá en caso de haber pulsado previamente alguno de los dos modos con los que cuenta el programa (manual/automático).

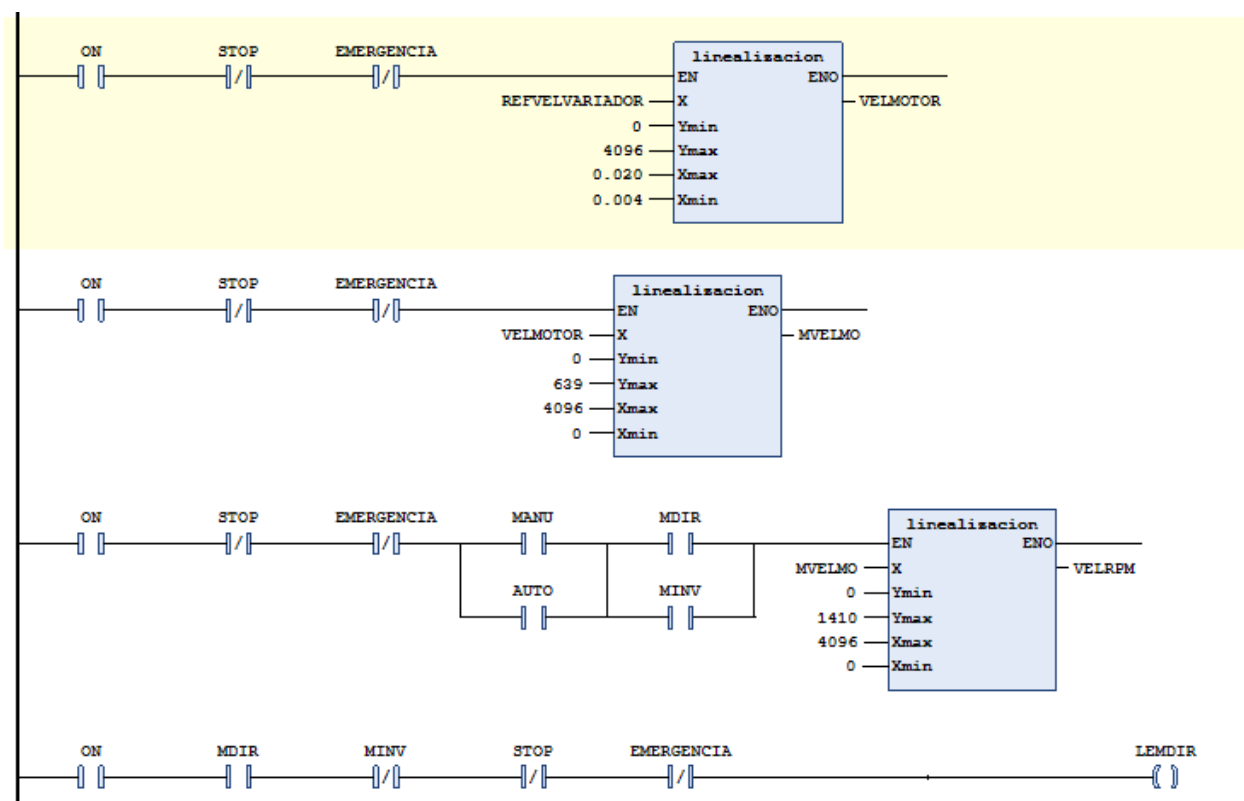


Figura 68. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



En la tercera parte del algoritmo diseñado se tienen en cuenta los posibles errores o intermitencias que podrían ocurrir durante las puestas en marcha una vez seleccionado el sentido del motor para el rodillo aplicador es decir, ¿qué pasaría si un operario selecciona el modo directo en el motor y luego por error oprime el lado inverso?, ¿Cuál sería la decisión que tome como verdadero el algoritmo? Es por esto que se realiza un seguro en protección a estos accidentes y se construye una secuencia que me permita activar una salida si y solo si se escoge una opción, en caso de tener dos entradas activas al tiempo a la hora de seleccionar modo *directo* o *inverso* no se activará la salida como se visualiza en la última línea de la figura 68 y la primera línea de la figura 69. La lectura del *GAP* se realiza a través de un Encoder por lo cual está se activa con el encendido de la maquina como se visualiza en la línea 2 de la figura 69.

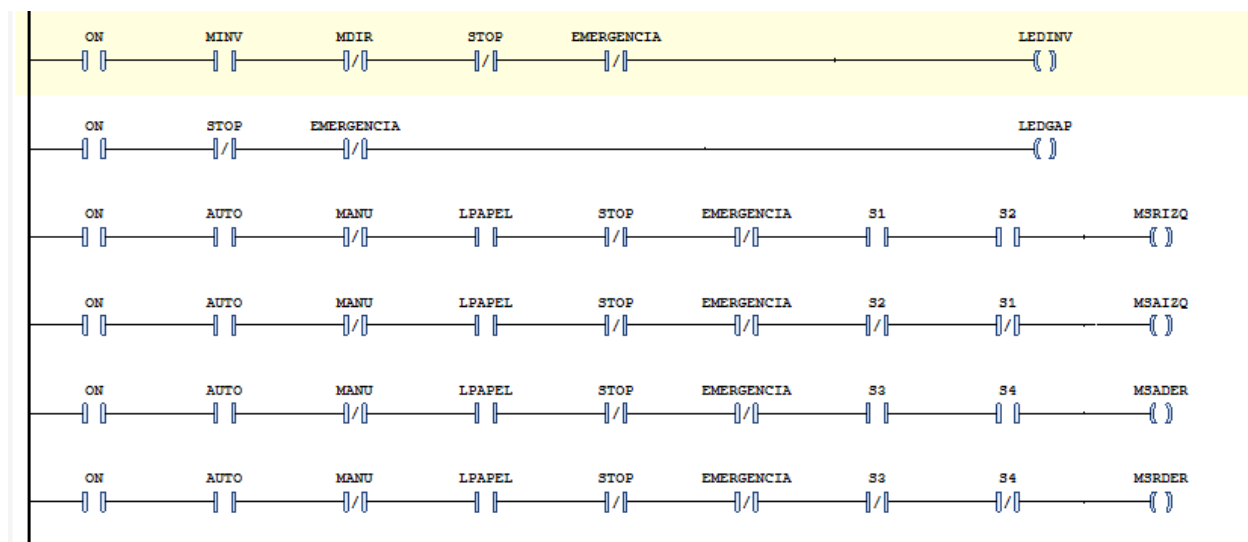


Figura 69. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Una vez el operario selecciona el sentido del giro para el rodillo aplicador, debe seleccionar el modo de trabajo (manual/automático). En caso de seleccionar modo “automático” los limitadores deberán buscar la posición en la que se encuentra el papel ya que existen diferentes ancho lamina, es por esto que durante la propuesta se incluye la instalación de 5 sensores laser que logren captar la posición del papel y si existe papel dentro del equipo. En la figura 70 se observa la representación gráfica de dichos sensores, entonces el funcionamiento de los limitadores para su desplazamiento funciona del siguiente modo:

- El actuador del lado izquierdo se controlará mediante los sensores 1 y 2.
- El actuador del lado derecho se controlará mediante los sensores 3 y 4.
- Si la lectura de los valores digitales del sensor 1 y 2 devuelve un “cero” da como resultado la activación del giro en inversa para el motor que se acoplará en el limitador del lado izquierdo hasta que el sensor 2 se encuentra activado, en ese punto el motor se desactivará.
- Si la lectura de los valores digitales del sensor 1 y 2 devuelve un “uno” da como resultado la activación del giro en directa para el motor que se acoplará en el limitador del lado izquierdo hasta que el sensor 1 se encuentra desactivado.
- Si la lectura de los valores digitales del sensor 3 y 4 devuelve un “cero” da como resultado la activación del giro en inversa para el motor que se acoplará en el limitador del lado derecho hasta que el sensor 3 se encuentra activado, en ese punto el motor se desactivará.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

- Si la lectura de los valores digitales del sensor 3 y 4 devuelve un “uno” da como resultado la activación del giro en directa para el motor que se acoplará en el limitador del lado derecho hasta que el sensor 4 se encuentra desactivado.

En el algoritmo se toman en cuenta estas consideraciones en las ultimas 4 líneas de código de la figura 69 donde se le asigna la activación del sentido a marcas que posteriormente serán usadas para enviar una señal de salida a través del plc.



Figura 70. Representación gráfica de instalación de sensores laser para lectura de papel.
Fuente: Autor.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Como efectos de simulación se le asigna a la activación del motor un led quien es el encargado de demostrar la puesta en marcha del motor para el limitador tanto de izquierda como de derecha, es por esto que las marcas anteriormente mencionadas dan como resultado de activación el encendido del dicho led como se observa en la primera línea del algoritmo en la figura 69, así mismo se le acopla paralelamente la activación en caso de ser seleccionado el modo “manual”.

Durante las siguientes líneas del código que se visualiza en la figura 69, se inicial con la secuencia de activación para enviar la señal de sentido al motor (directo/inverso) bajo las variables *MDIRECM1* con la cual se representa la salida para la activación del sentido directo en el motor izquierdo y *MINVM1* con la cual se representa la salida para la activación del sentido inverso en el motor izquierdo teniendo en cuenta las marcas que anteriormente realizaron la lectura de los sensores en los extremos del equipo para el modo de trabajo automático, además se toma en cuenta un quinto sensor llamado *Lpapel* quien es el encargado de realizar la lectura en la mitad del equipo y verificar que el papel no tenga rupturas en el proceso. En el modo de trabajo manual esta señal será activada mediante la pulsación de un botón que indica el sentido inverso o directo el cual se encuentra en pantalla durante la simulación.

En la secuencia también se tiene en cuenta la variable *FFCIZQ1* y *FCIZQ2* quienes representan el la simulación finales de carrera que se tienen en cuenta durante la presentación de la propuesta y



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

se encuentran al final de cada recorrido para cada actuador ya sea de modo inverso o directo en la figura 71 se observan la posición de los limitadores de carrera a través de la representación gráfica de led's rojos; con esto podemos asegurar al sistema una parada de emergencia en caso de fallo para cualquiera de los sensores instalados en los extremos.

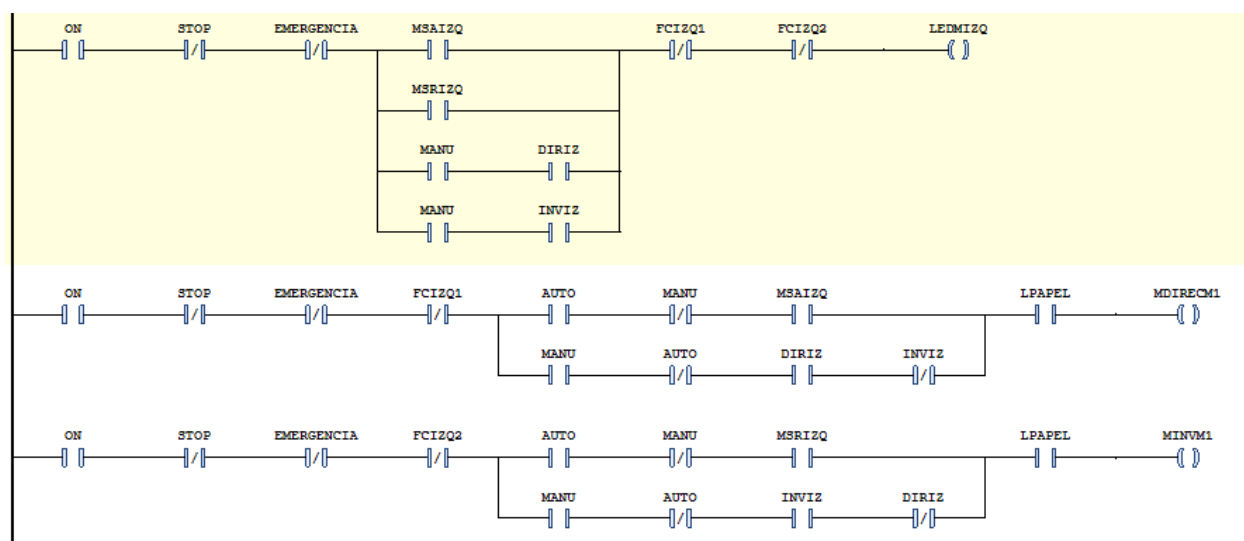


Figura 71. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.

Así mismo como se describe el proceso con el limitador del lado izquierdo, se realiza el mismo algoritmo para el lado derecho como se visualiza en la figura 72 teniendo en cuenta las marcas de los sensores S3 y S4.

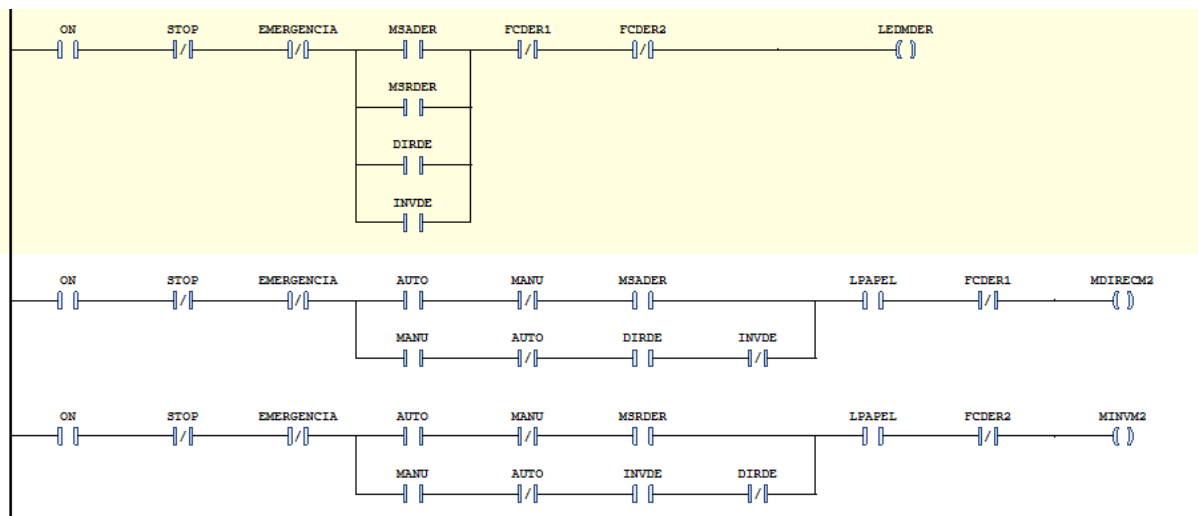


Figura 72. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.

En la figura 73 se observa la parte final del algoritmo donde se tienen en cuenta los posibles errores en dado caso que se presenten intermitencias en la señal de los sensores del papel, que encenderán un aviso a través de un led que indica un error en la lectura y envía una señal de emergencia acerca del sistema eléctrico del equipo indicando un paro en el proceso. La variable *ERR* indica un error cuando:

1. Existe lectura del papel a través de sensor *Lpapel* y hay una lectura del sensor *S1* (sensor externo del lado izquierdo) pero no hay una lectura del sensor *S2* (sensor interno del lado izquierdo), esto me indica una avería en el *S2* ya que si se encuentra la existencia de papel con la lectura del sensor *Lpapel* explícitamente el sensor *S2* debe estar activado.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



2. En caso de existir lectura de papel a través del sensor *S1* y encontrarse el sensor *Lpapel* desactivado envía una señal de error ya que significa que se encuentra una avería en el sensor de ruptura.
3. En caso de existir lectura de papel a través del sensor *S2* y encontrarse el sensor *Lpapel* desactivado envía una señal de error ya que significa que se encuentra una avería en el sensor de ruptura.

Del mismo modo la variable *ERR2* Representa los errores previamente descritos en este caso, para los sensores *S3* (sensor interno derecho) y *S4* (sensor externo derecho) con los condicionales de activación:

4. Existe lectura del papel a través de sensor *Lpapel* y hay una lectura del sensor *S4* (sensor externo del lado izquierdo) pero no hay una lectura del sensor *S3* (sensor interno del lado izquierdo), esto me indica una avería en el *S3* ya que si se encuentra la existencia de papel con la lectura del sensor *Lpapel* explícitamente el sensor *S3* debe estar activado.
5. En caso de existir lectura de papel a través del sensor *S4* y encontrarse el sensor *Lpapel* desactivado envía una señal de error ya que significa que se encuentra una avería en el sensor de ruptura.
6. En caso de existir lectura de papel a través del sensor *S3* y encontrarse el sensor *Lpapel* desactivado envía una señal de error ya que significa que se encuentra una avería en el sensor de ruptura.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

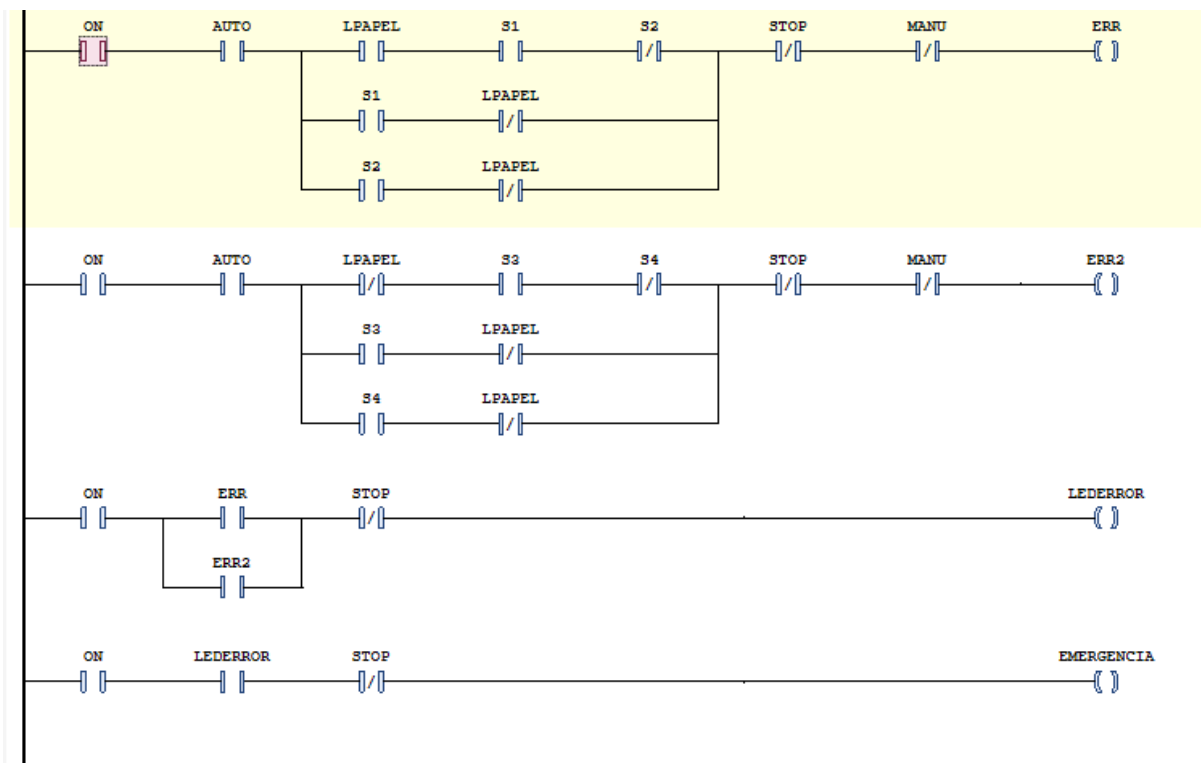


Figura 73. Algoritmo de propuesta en lenguaje ladder. Fuente: Autor.

Como resultado tenemos la simulación que se encuentra dentro del anexo 19 en donde se muestra el algoritmo previamente descrito en funcionamiento a través de la interfaz gráfica del programa CODESYS.



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Capítulo VI: Simulación de interfaz HMI en codesys

Una de las características con las que cuenta el programa *Codesys* es su versatilidad para mostrar el algoritmo de forma gráfica mediante una biblioteca de visualización, que entrelaza el código realizado con los elementos gráficos y demuestra los resultados para un programa de control previamente desarrollado. Para la construcción de la interfaz se inicia agregando un nuevo objeto de visualización en la aplicación que se encuentra dentro del emulador del dispositivo como se observa en la figura 74.

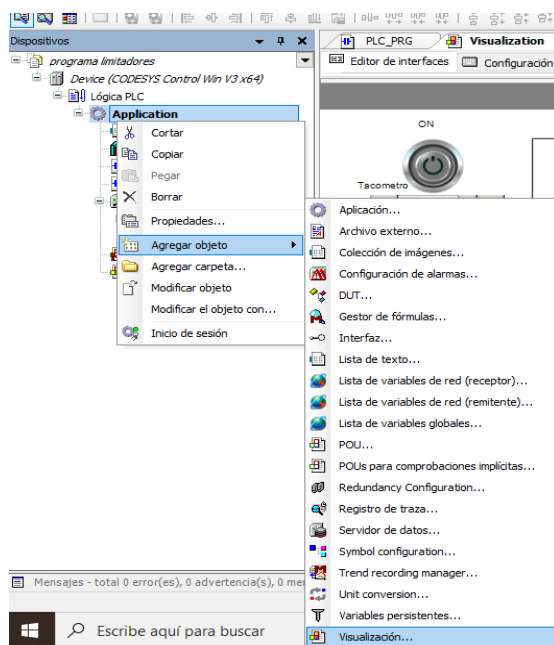


Figura 74. Paso 1 para la construcción de la interfaz HMI, Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Una vez creado el objeto de visualización en la parte izquierda del programa aparecerán las herramientas disponibles y los objetos predeterminados con los que cuenta el programa para la construcción del interfaz, en la figura 75 se observan los objetos disponibles para usar dentro del diseño.



Figura 75. Paso 2 para la construcción de la interfaz HMI, Fuente: Autor.

Tras seleccionado el objetivo que se usará dentro de la simulación, se le asigna la variable con la cual se cambia el estado del objeto ya sea encendido/apagado o visibilidad en caso de tener la variable activa, en la figura 76 se observan los campos disponibles para editar en cada objeto que se seleccione.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!

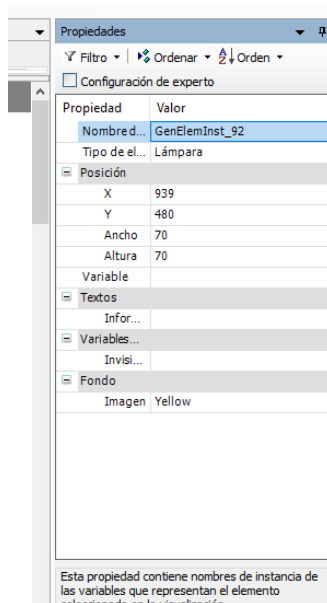


Figura 76. Paso 3 para la construcción de la interfaz HMI , Fuente: Autor.

En la construcción de la interfaz HMI se diseña una pantalla como se puede observar en el recuadro que se encuentra en la figura 77, allí se visualiza el montaje 3D del equipo con led's que indican el encendido o apagado de las variables de salida a controlar. Se tiene en cuenta dos modos de funcionamiento para el operador: automático y manual, lo que quiere decir que dependiendo de la selección hecha por el operario los limitadores de adhesivo que se desplazan mediante motores de corriente directa incluidos en la propuesta de mejora y podrán tener un movimiento automático o bien sea controlado en modo directo o inverso por el operador. A la izquierda de la figura 77 se observan las variables de entrada que posteriormente serán procesadas por el algoritmo de control, con esto se busca simular los elementos que cuentan con datos tanto reales como booleanos y tienen inferencia en el proceso.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

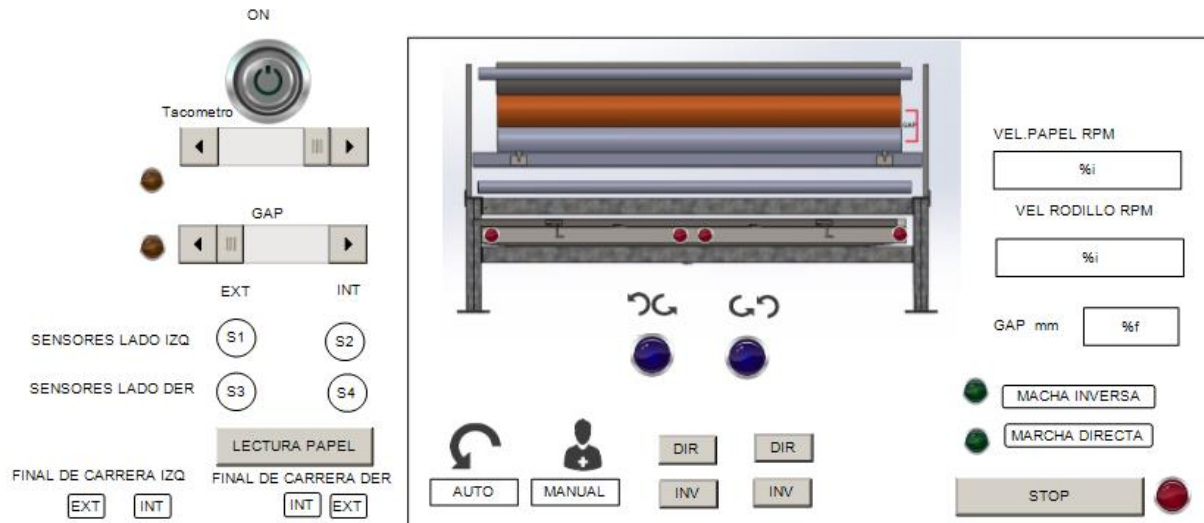


Figura 77. Interfaz de simulación grafica codesys. Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que el controlador a usar es el PLC *UNITRONIC VISION V570-57-T20B*, se debe seleccionar un módulo de entradas y salidas acorde a los elementos que incluya la propuesta descritos en la tabla 4.

Entradas	Salidas
1. On(<i>digital</i>)	Motor de rodillo aplicador(<i>Análoga</i>)
2. Tacogenerador(<i>Análoga</i>)	Motor limitador izquierdo(<i>Análoga</i>)
3. Stop(<i>digital</i>)	Motor limitador derecho(<i>Análoga</i>)
4. Sensor externo limitador izquierdo(<i>digital</i>)	Alarma de parada(<i>digital</i>)
5. Sensor interno limitador izquierdo(<i>digital</i>)	Sentido de giro directo motor aplicador(<i>digital</i>)



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



6. Sensor externo limitador derecho(<i>digital</i>)	Sentido de giro inverso motor aplicador(<i>digital</i>)
7. Sensor interno limitador derecho(<i>digital</i>)	Sentido de giro directo motor limitador izquierdo(<i>digital</i>)
8. Sensor de ruptura(<i>digital</i>)	Sentido de giro inverso motor limitador izquierdo(<i>digital</i>)
9. Final de carrera externo izquierdo(<i>digital</i>)	Sentido de giro directo motor limitador derecho (<i>digital</i>)
10. Final de carrera interno izquierdo(<i>digital</i>)	Sentido de giro inverso motor limitador derecho (<i>digital</i>)
11. Final de carrera externo derecho(<i>digital</i>)	
12. Final de carrera interno derecho(<i>digital</i>)	
13. Sentido directo motor izquierdo(<i>digital</i>)	
14. Sentido inverso motor izquierdo(<i>digital</i>)	
15. Sentido directo motor derecho(<i>digital</i>)	
16. Sentido inverso motor derecho(<i>digital</i>)	
17. GAP (<i>digital</i>)	

Tabla 4. Entradas y salidas físicas necesarias en propuesta, Fuente: Autor.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
 Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

Una vez determinado la cantidad tanto de entradas y salidas análogas como digitales se procede bajo esos criterios de selección a determinar el modulo para la propuesta que cumpla con la cantidad de entradas y salidas necesarias, a continuación se visualiza la tabla 5 de los módulos *Unitronic* disponibles para el uso en el plc *VISION V570-57-T20B*.

Módulos de entrada y salida encajables



Compatible con modelos de la serie Vision V560, V570, V700, V1040 y V1210.

Artículo de entrada y salida de encaje a presión	Entradas				Salidas				Voltaje operativo
	Digital (aislados) ¹	HSC/ codificador de eje ²	Analógicas	Medición de temperatura	Transistor (aislados) ³	PWM/HSC ³	Relés	Analógicas	
V200-18-E1B	16 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	3 0-10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	4 prp/npn	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	10	—	24 VCC
V200-18-E2B	16 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	2 0-10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	4 prp/npn	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	10	2 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 12 bits	24 VCC
V200-18-E3XB	18 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	4 (aislados) Termopar, PT100, 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 14 bits	—	2 prp/npn	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	15	4 (aislados) 0-10 voltios, 4 a 20 mA 12 bits	24 VCC
V200-18-E4XB	18 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	4 (aislados) Termopar, PT100, 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 14 bits	—	15 prp 2 npn/prp	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	—	4 (aislados) 0-10 voltios, 4 a 20 mA 12 bits	24 VCC
V200-18-E5B	18 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	3 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	15 prp 2 npn/prp	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	—	—	24 VCC
V200-18-E6B	18 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	2 Termopar, PT100, 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 14 bits 3 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	2 prp/npn	2 prp 0,5 kHz npn 50 kHz	15	2 (aislados) 0-10 voltios, 4 a 20 mA 12 bits	24 VCC
V200-18-E46B	18 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	6 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 14 bits 3 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	2 prp/npn	2 prp 0,5 kHz npn 100 kHz	15	2 (aislados) 0-10 voltios, 4 a 20 mA 12 bits	24 VCC
V200-18-E62B ⁴	30 prp/npn	2 10 kHz, 32 bits	2 0 a 10 voltios, 0 a 20 mA, 4 a 20 mA 10 bits	—	28 prp 2 npn/prp	2 prp 0,5 kHz npn 100 kHz	—	—	24 VCC

Tabla 5. Módulos unitronic, Fuente: (unitronic, 2020).



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Por lo cual bajo los criterios de selección se determina que el módulo **V20018E3XB** cuenta con las salidas análogas necesarias para la implementación de la propuesta. Durante todo el desarrollo del programa e interfaz se tuvo acompañamiento de personal del área electricidad y electrónica para la lectura del esquema eléctrico inicial del equipo y la construcción del algoritmo en donde se analizaron las entradas, salidas del plc y los elementos a control. Al finalizar la simulación se presenta la propuesta ante el jefe inmediato del área encargada de los mantenimientos electrónicos a través de una reunión en donde se exponen la propuesta a detalle y se evalúa la viabilidad de esta, ver carta de aceptación adjunta en el anexo 20.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



25. Conclusiones

- Las decisiones técnicas y económicas tomadas con ayuda del grupo interdisciplinar permitieron integrar todas las necesidades y puntos de vista de la producción mejorando la visión sobre las adecuaciones necesarias para el proceso de rediseño de una máquina que cumpla no solo con los objetivos planteados sino que sea elemento innovador, eficiente y económicamente viable. El concepto técnico una vez revisado en el mercado el costo del equipo nuevo necesario para la implementación de dual arch, definió que la adecuación de la máquina le genera a la empresa un ahorro representativo que puede llegar a ser hasta una tercera parte del valor comercial del equipo; Este nuevo proceso dual arch frente al en proceso convencional también logra mayor eficiencia al aumentar la calidad y resistencia de la caja y además permite utilizar cartón reciclado manteniendo los estándares requeridos.
- La evaluación del diseño de los componentes críticos de la estructura del equipo mediante el método de elementos finitos permitió validar que la resistencia del acero galvanizado seleccionado y su geometría soportan adecuadamente la carga de 12.740 N presentando deformaciones y desplazamiento mínimos con un factor de seguridad alto, garantizando de esta manera la seguridad de los operarios y la integridad del equipo.
- Después de instaladas las piezas para la adecuación se evalúa el nivel de la instalación de la base principal y el centro de ejes para los rodillos mediante una prueba piloto en donde



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



se determinó un correcto anclaje del equipo teniendo en cuenta que el suelo presenta desnivel.

- Una vez instalada la tubería durante la trayectoria se realizan pruebas pilotos con agua para verificar el estado de las uniones y las vibraciones en donde da como resultado una prueba exitosa teniendo en cuenta que las mangueras instaladas a la salida de cada equipo auxiliar amortiguan y disminuye las vibraciones del sistema.
- Para evitar sobrecostos de diseño es importante tener un alto nivel de detalle durante la elaboración de los planos para cada elemento en aspectos como: tipos de agujeros, vistas de sección, tipo de tornillo que se usará (diámetro, longitud y rosca), tipo de material y espesor. Esto facilita enormemente la tarea de la empresa encargada del proceso de fabricación teniendo en cuenta que el diseñador no puede estar permanentemente aclarando dudas durante el proceso de ensamble; gracias a los conocimientos adquiridos durante la formación académica en el software solidworks se lograron desarrollar sin inconvenientes las piezas requeridas.
- La selección el PLC *UNITRONIC VISION V570-57-T20B* se basó en que esta marca de controladores permite el libre desarrollo de software y edición para la implementación de la propuesta de automatización del equipo, teniendo en cuenta que el plc con el que cuenta la maquina marca *Siemens S7-300* requiere de compra de licencias y esto incrementa los costos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- Es muy importante que a partir de la evaluación de los planos eléctricos del ACP-850 se identifique cuáles son los actuadores (salidas) ,sensores (entradas) y su modo de funcionamiento, porque esto permite seleccionar el modulo del PLC *UNITRONIC VISION* V570-57-T20B más adecuado que en este caso fue el V20018E3XB y que cumple con los requerimientos. Una vez definidos los dispositivos periféricos necesarios para el desarrollo de la propuesta se logra a diseñar un nuevo algoritmo de control en ladder con éxito partiendo únicamente del análisis eléctrico sin tener implícitamente códigos implantados con anterioridad.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



26. Referencias Bibliográficas

C.I Uniban . (2014). *Informe corporativo proyecto dual arch* .

C.I Uniban. (2018). *Filiales*. Obtenido de Sara palma :

<https://www.uniban.com/index.php/es/filiales/agricola-sara-palma-s-a>

C.I Uniban. (2022). *Sobre nosotros*. Obtenido de historia:

<https://www.uniban.com/index.php/es/nosotros-2/historia>

Codelco. (2016). *Norma Estandar para la aplicación de colores en sistemas de tuberías*. Chile:

Dirección de administración y protección de los recursos.

Fällstrom, E., Gren, P., & Mattson, R. (2002). Determination of paper stiffness and anisotropy

from recorded bending. *NDT&E International* , 8.

FERROBEND. (2008). *boltport*. Obtenido de <https://boltport.com/specifications/astm-a529/>

Giovanny, J. (2013). *dual arch process consideration* . *harperlove* , 5.

Javkid, A., Marino, R., & Robiolio, I. (2014). *Tesis, Modernización de una línea de corrugado*.

Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Johnson, R., Dewolf, T., & Mazuke, F. (2010). *Mecánica de materiales* (5th edición ed.).

Mexico: Mc Graw Hill.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Marin Sanchez, J. (2018). *Tesis, Diseño de un sistema de control distribuido usando Factor IO y Codesys V3* . Sevilla: Universidad de Sevilla.

Molina, S. (2018). *Tesis, Metodo de programación para plc's basado en el estandar IEC61131*. Bogota, Colombia.: Universidad del valle.

P. Yaseer, K. D. (2021). Materials today proceedings . En K. D. P. Yaseer, *Automation of sundry board machine used in paper-cardboard mills* (págs. 3650-3655).

pachacama, B. (2013). *Tesis, Rediseño y automatización del desplazamiento horizontal de los rodillos de la esa de formado y de la prensa 2,1,3 del sistema de enrollado de laminas de cartón para la empresa INCASA S.A.* Quito, Ecuador : Escuela politecnica nacional .

Posada, N. F. (2010). *Fabricación y automatización de una maquina para cortar cajas de carton con plc, Tesis de pregrado* . Bucaramanga,Norte de santander: Universidad pontificia Bolivariana.

Readdy. (2005). *Method description an introduction to the finite element method* . Los angeles: Mc Graw Hill.

Resolución , 4272 (Republica de colombia 2021).

Rodriguez, E. (2012). *Tesis, Buenas practicas para diseño de hmi de alto rendimiento* . Cartagena de indias,Colombia.: Universidad tecnologica de Bolivar .



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



Siemens. (2003). Manual para configurar el sistema de automatización S7-300: CPU 312IFM .

Manual siemens.

unitronic. (2020). Software potente. *PLC + HMI all in one* , 19.

Zhañay, C. M. (2011). *Propuesta de un software para el control y seguimiento del proceso de diseño y rediseño de una maquinaria papelera para la empresa del grupo Cartopel S.A.*

Tesis de pregrado . Quito, Ecuador : Universidad de israel.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



27. Anexos

- Anexo 1: Levantamiento en campo de espacios.
- Anexo 2: Plano de operario en campo con altura de equipo 700 mm
- Anexo 3: Planos de soporte principal del equipo principal
- Anexo 4: Planos de soportes a equipo auxiliar 2
- Anexo 5: Planos de equipo auxiliar 1
- Anexo 6: Calculos de alturas para soportes de tuberías
- Anexo 7: Planos avalados para instalación de tuberías de alimentación
- Anexo 8 : Planos de bandeja principal aguas residuales
- Anexo 9: Planos de bandeja de aguas residuales en equipo auxiliar 1
- Anexo 10: Planos de limitadores de bandeja
- Anexo 11: Carta contrato con la empresa Darruzén
- Anexo 12: Carta contrato con la empresa HRV
- Anexo 13: Carta contrato con la empresa Servirosas
- Anexo 14: Carta contrato con empresa ASILEEC
- Anexo 15: Carta contrato con empresa construcciones M&M
- Anexo 16 : Planos eléctricos de manual para el equipo ACP-850
- Anexo 17: Plan de montaje soporte principal
- Anexo 18: Video de planta
- Anexo 19: Video simulación



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
¡Seguimos avanzando!



- **Anexo 20: Carta de aceptación propuesta de automatización.**



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co