



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENCOLADORA DE
LIBROS SULBY 7 CLAMP PERFECT BINDER PARA LA EMPRESA
BRIUVE SERVICIOS GRÁFICOS”**

**AUTORES: RODRIGUEZ ORTEGA, ROBERTO ALEJANDRO
VILLACÍS VÁSCONEZ, ALEX PAÚL**

**DIRECTOR: ING. SEGOVIA DE LA GUERRA, EDISON
XAVIER**

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENCOLADORA DE LIBROS SULBY 7 CLAMP PERFECT BINDER PARA LA EMPRESA BRIUVE SERVICIOS GRÁFICOS*”, realizado por los señores Roberto Alejandro Rodríguez Ortega y Alex Paúl Villacís Vásquez, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Roberto Alejandro Rodríguez Ortega y Alex Paúl Villacís Vásquez, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Septiembre 2016

Atentamente.

Ing. Edison Xavier Segovia De La Guerra



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Roberto Alejandro Rodríguez Ortega, con cédula de identidad N°172105827-7 y Alex Paúl Villacís Vásquez, con cédula de identidad N°172112310-5, declaramos que este trabajo de titulación “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENCOLADORA DE LIBROS SULBY 7 CLAMP PERFECT BINDER PARA LA EMPRESA BRIUVE SERVICIOS GRÁFICOS” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Septiembre 2016

Roberto Alejandro Rodríguez Ortega
CI: 172105827-7

Alex Paúl Villacís Vásquez
CI: 172112310-5



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Roberto Alejandro Rodríguez Ortega y Alex Paúl Villacís Vásquez, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENCOLADORA DE LIBROS SULBY 7 CLAMP PERFECT BINDER PARA LA EMPRESA BRIUVE SERVICIOS GRÁFICOS” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Septiembre 2016

Roberto Alejandro Rodríguez Ortega
CI: 172105827-7

Alex Paúl Villacís Vásquez
CI: 172112310-5

AGRADECIMIENTOS

Después de todo este esfuerzo quiero agradecer principalmente a mi familia, que con su ejemplo y consejos ayudaron a formar la persona que hoy en día soy.

A mi Padre, siempre valorare el esfuerzo y sacrificio que hizo para que nunca me faltara nada, valoro todo lo que me ha enseñado, su actitud positiva ante cualquier situación y espero algún día poder pagarle todo lo que ha hecho por mí.

A mis hermanas, que, con cada detalle, consejo y broma, supieron crear ese ejemplo, de superación, valentía y seguridad ante los problemas, demostrándome que nada es fácil, que los valores y la educación es lo esencial y que pueda no decírselos fácilmente, pero de verdad las amo.

A mi cuñado al cual puedo considerar que es como el hermano que nunca tuve, de quien recibí consejos necesarios en momentos duros de mi vida, y quien debo reconocer que, sin él, mi familia no sería lo que es ahora.

Quiero agradecer especialmente a MI MADRE, la mujer de mi vida, mi reina, mi motor, ya que desde que tengo uso de razón, ella ha dejado y sacrificado mucho por complacerme, nunca olvidare tantos regalos secretos, frases como “mi compañerito” y “quien es más sino la mama”, que han quedado plasmados en mi memoria, que me hacen reflexionar, que sería de mi sin esa maravillosa mujer. Solo puedo responder con acciones, que te harán sentir cuanto te amo, prometerte que me esforzare tanto que te sentirás orgullosa de mi, y que, aunque a veces lo pienses y no pueda demostrártelo de la mejor manera, jamás te voy a dejar sola, tu que eres lo más importante que tengo. Para resumir, solo puedo decir, de la forma más sincera y con todo mi corazón, GRACIAS MAMA POR TODO Y POR TANTO.

A mi compañero de tesis, Alex, que a pesar de que nuestra vida universitaria la pasamos en carreras y apuros, pude encontrar ese amigo incondicional, que puso su hombro para apoyarme en los momentos más difíciles, y que después de tantas experiencias me siento orgulloso de graduarme a su lado.

También quiero agradecer a mis amigos y todos en quien confié, ya que como escuché una vez, en la educación todos son maestros y pupilos, pues aprendí mucho de todos, como de igual manera espero haber dejado una marca en ellos, para que sean mejores personas cada día.

Agradezco a esa persona que cuando perdía mi norte, estuvo ahí para señalármelo, recordándome que es lo importante en la vida, y que los detalles por más pequeños que sean, son importantes para cada persona.

Y por último a mis profesores y tutor, que me brindaron las herramientas para algún día ser un excelente profesional capaz de realizar con criterio e inteligencia cualquier proyecto que se me imponga.

Rodríguez Ortega Roberto Alejandro

A Dios principalmente, a mis padres y hermanos, a quienes amo con el alma, ya que a lo largo de mi vida me han apoyado no solo en la formación académica si no en la formación como persona y han sido un ejemplo a seguir.

A la Carrera de Ingeniería Electrónica y todos los ingenieros que forman parte de ella, por abrirme las puertas, compartir sus conocimientos y experiencias de vida permitiéndome adquirir nuevos conocimientos.

Al ingeniero Xavier Segovia por el apoyo brindado, el conocimiento impartido, las críticas constructivas y por ser una guía para poder culminar con este proyecto.

A mi compañero y amigo, Alejandro, por la su valiosa amistad, ya que a pesar de todos los inconvenientes que se han presentado a lo largo de este proyecto siempre estuvo brindando su apoyo incondicional.

También quiero agradecer a Maritza, quien no solo se convirtió en mi apoyo al momento de culminar esta etapa de mi vida, si no también se ha convertido en mi compañera de vida, brindándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles y disfrutando junto a mí cada logro alcanzado.

A mis amigos, compañeros, familiares y demás personas que de una u otra forma me ayudaron para seguir adelante les agradezco de todo corazón por cada uno de los momentos que pasamos dentro y fuera de las aulas.

Villacís Vásconez Alex Paúl

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e importancia	2
1.3 Alcance del proyecto	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 General	4
1.4.2 Específicos	4

CAPÍTULO II 5

MARCO TEÓRICO

2.1 Encuadernación de libros.....	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 Tipos de encuadernación.....	5

2.1.3	Máquinas Automáticas de Encuadernación Encolada	10
2.2	Encoladora de libros Sulby 7 Clamp Perfect Binder	13
2.2.1	Introducción	13
2.2.2	Descripción del proceso general	14
2.2.3	Ansicola HM-477.....	16
2.3	Sistemas de Control	17
2.3.1	Conceptos básicos	17
2.3.2	Clasificación de sistemas de control según su tecnología.....	20
2.4	Bluetooth.....	28
2.4.1	Introducción	28
2.4.2	Características	29
2.4.3	Protocolo Bluetooth	30

CAPÍTULO III 32

DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1	Estado inicial de la máquina	32
3.1.1	Descripción de los subprocesos	32
3.1.2	Descripción del controlador	35
3.1.3	Datos técnicos de elemento funcionales	37
3.2	Propuesta de Automatización	41
3.2.1	Control de temperatura.....	41
3.2.2	Control de velocidad	44
3.2.3	Descripción de la propuesta de automatización.....	44
3.2.4	Controlador	48
3.2.5	HMI.....	54
3.2.6	Características del sistema eléctrico.....	55

3.2.7	Dimensionamiento de equipos	55
-------	-----------------------------------	----

CAPÍTULO IV 68

DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA

4.1	Diseño de la Interfaz Humano – Máquina.....	68
4.1.1	Normativa Legal.....	68
4.1.2	Diseño del HMI en Android Studio	76
4.1.3	Transmisión de la Información	81
4.2	Descripción del Funcionamiento	87
4.2.1	Ventanas	87
4.2.2	Navegabilidad	92

CAPÍTULO V 93

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1	Implementación de solución inicial	93
5.2	Instalación del sistema de control.....	93
5.2.1	Caja eléctrica.....	93
5.2.2	Estación de control.....	97
5.2.3	Indicadores	99
5.2.4	Sensores	99
5.3	Pruebas.....	100
5.3.1	Control de temperatura.....	101
5.3.2	Variador de velocidad	102
5.3.3	Fallas	103
5.4	Correcciones	104

5.4.1	Transmisor de temperatura.....	104
5.4.2	Variador de frecuencia	104
5.4.3	Conexión a tierra.....	106
5.4.4	Rediseño de placa electrónica	107
5.4.5	Indicadores	110
5.5	Resultados.....	111
5.5.1	Costos.....	111
 CAPÍTULO VI		 113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
6.1	Conclusiones.....	113
6.2	Recomendaciones	115
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		 117
ANEXOS		121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pasos Para Encuadernación Por Encolado.....	7
Figura 2 Proceso de encuadernación por grapado.....	7
Figura 3 Proceso de encuadernación cosida.....	9
Figura 4 Encoladora lineal de marca Sulby	11
Figura 5 Encoladora giratoria de marca BRACKETT	12
Figura 6 Encoladora PUR giratoria de marca HORIZON	13
Figura 7 Encoladora Sulby 7 Clamp Perfect Binder.....	14
Figura 8 Vista Frontal de la máquina Encoladora de libros Sulby 7	15
Figura 9 Vista Posterior de la máquina Encoladora de libros Sulby 7.....	15
Figura 10 Empaquetado y presentación de la ANSICOLA HM-477	17
Figura 11 Pirámide de Automatización.....	18
Figura 12 Diagrama de bloques de sistema de control en lazo abierto.....	19
Figura 13 Diagrama de bloques de sistema de control en lazo cerrado	20
Figura 14 Clasificación de sistemas de control según su tecnología	20
Figura 15 Válvula neumática	22
Figura 16 Compuerta Lógica	22
Figura 17 Esquema de conexión de arranque estrella – delta de un motor.....	23
Figura 18 Programa en lenguaje KOP	24
Figura 19 Arquitectura de un Microcontrolador	25
Figura 20 Microcontrolador ATMEL	25
Figura 21 Arquitectura de un PLC	26
Figura 22 PLC marca Siemens modelo S7-1200.....	27
Figura 23 PC industrial marca SIEMENS	28
Figura 24 Logo de comunicación bluetooth	29
Figura 25 Diagrama de una red scatternet.....	30
Figura 26 Pila de protocolos bluetooth	31
Figura 27 Ubicación de la fresa níquelina y rodillos de la máquina encoladora	33
Figura 28 Ubicación del motor principal de la máquina encoladora	33
Figura 29 Despachador de portadas de la máquina encoladora	34
Figura 30 Ubicación del motor principal de la máquina encoladora	35
Figura 31 Sensor para el paro de emergencia	36

Figura 32 Botonera de control adicional	36
Figura 33 Caldera para calentado de la goma	37
Figura 34 Control ON/OFF para la niquelina de máquina encoladora	42
Figura 35 Configuración básica para AD595.....	43
Figura 36 Esquema 3D de propuesta de instalación de sensor de temperatura.	43
Figura 37 Diagrama de bloques de la propuesta de automatización	45
Figura 38 Diagrama de flujo del proceso general	46
Figura 39 Diagrama de flujo del control ON/OFF de temperatura.....	47
Figura 40 Placa Arduino MEGA 2560.....	50
Figura 41 Circuito de potencia para salida de arduino.....	51
Figura 42 Imagen 3D de la placa electrónica.....	54
Figura 43 Vistas de la caja eléctrica.....	65
Figura 44 Caja eléctrica armada.....	66
Figura 45 Vistas de la caja eléctrica armada.....	66
Figura 46 Pantalla de inicio de Android Studio	77
Figura 47 Navegabilidad	78
Figura 48 Paleta de selección de colores en Android Studio	79
Figura 49 Pantalla de bienvenida del HMI	87
Figura 50 Ventana de modo Local	88
Figura 51 Ventana de modo remoto.....	90
Figura 52 Navegabilidad del HMI	92
Figura 53 Vista frontal de la caja eléctrica de control	94
Figura 54 Interior de la caja eléctrica.....	95
Figura 55 Medidas de instalación del Variador de Frecuencia	96
Figura 56 Descripción de controles en la parte superior de la caja eléctrica	98
Figura 57 Descripción de controles en la parte superior de la caja eléctrica	98
Figura 58 Descripción indicadores en la parte frontal de la caja eléctrica.....	99
Figura 59 Sensor de presencia de hojas Instalado.....	100
Figura 60 Sensor de temperatura instalado	100
Figura 61 MAX6675 y configuración básica.....	104
Figura 62 Circuito de aislamiento de señales de control del variador	105
Figura 63 Vista en 3D del nuevo diseño del controlador.....	109

Figura 64 Placa final de controlador principal del sistema 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de pegamento para encolado.....	10
Tabla 2	Características de Encoladora Sulby 7 Clamp.....	14
Tabla 3	Datos técnicos del motor principal.....	37
Tabla 4	Datos técnicos del motor cuchillas.....	38
Tabla 5	Datos técnicos de la niquelina.....	38
Tabla 6	Datos técnicos de los contactores.....	39
Tabla 7	Datos técnicos de la botonera.....	40
Tabla 8	Datos técnicos del sensor de presencia.....	40
Tabla 9	Descripción de entradas digitales del controlador.....	48
Tabla 10	Descripción de salidas digitales del controlador.....	49
Tabla 11	Descripción de salidas analógicas del controlador.....	49
Tabla 12	Circuito de potencia para salida de arduino.....	52
Tabla 13	Descripción general del controlador.....	54
Tabla 14	Características del Variador.....	56
Tabla 15	Características del Pistón.....	57
Tabla 16	Características del Contactor del motor de cuchillas.....	58
Tabla 17	Características del Contactor de la niquelina.....	59
Tabla 18	Características del relé de estado solido.....	59
Tabla 19	Resumen del calibre de los conductores.....	61
Tabla 20	Características del sensor de temperatura.....	61
Tabla 21	Características del sensor de presencia.....	62
Tabla 22	Características de botonera.....	63
Tabla 23	Características de luces indicadoras.....	63
Tabla 24	Características de la fuente de poder.....	64
Tabla 25	Resumen de corrientes.....	67
Tabla 26	Resumen de los colores utilizados en HMI.....	79
Tabla 27	Resumen del tamaño de texto.....	80
Tabla 28	Estado de dispositivos.....	80
Tabla 29	Trama de envío de información.....	81
Tabla 30	Trama de recepción de información.....	82
Tabla 31	Métodos públicos de BluetoothAdapter.....	83

Tabla 32	Constantes de BluetoothAdapter.....	84
Tabla 33	Métodos Públicos de BluetoothDevice	84
Tabla 34	Constantes de BluetoothDevice	85
Tabla 35	Método Público de BluetoothSocket.....	86
Tabla 36	Constantes de BluetoothSocket.....	86
Tabla 37	Elementos de la ventana Local.....	88
Tabla 38	Ventana de modo Local	89
Tabla 39	Indicadores del estado de la estación	89
Tabla 40	Botones de Navegación.....	90
Tabla 41	Reseteo de contador de libros	90
Tabla 42	Reseteo de contador de libros	91
Tabla 43	Control del Proceso	91
Tabla 44	Estado de la estación	92
Tabla 45	Configuración básica de variador de frecuencia	96
Tabla 46	Configuración para control analógico para el variador de frecuencia	97
Tabla 47	Frecuencias fijas configuradas en variador de frecuencia	105
Tabla 48	Configuración de frecuencias fijas del variador de frecuencia	106
Tabla 49	Descripción de entradas/salidas digitales para placa electrónica final. ...	108
Tabla 50	Descripción de las partes del nuevo diseño de controlador	109
Tabla 51	Características de la luz indicadora.....	110
Tabla 52	Costos del proyecto	112

RESUMEN

Briuve es una empresa situada en la ciudad de Quito, que brinda una gran variedad de servicios de diseño e impresión, uno de estos tantos es la encuadernación o encolado de libros. Para poder cubrir con la demanda de sus clientes la empresa cuenta con una máquina de encolación de libros de la marca SULBY 7, la cual funciona enteramente con sistemas mecánicos. Debido a la antigüedad de la máquina, algunos dispositivos se han visto perjudicados, por lo que el funcionamiento de la máquina es parcial. En este documento se hace una recolección de información, sobre el estado de la máquina, funcionamiento y equipos en buen estado, para posteriormente proponer una solución de automatización que repotencie la actividad de la misma. Para esta propuesta se analizó los subprocesos del sistema y se tomaron en cuenta diversos factores, así como la relación costo beneficio en la elección de los materiales. Se implementaron sensores de presencia y temperatura, instrumentos de control como botoneras e interruptores, un variador de frecuencia para el control del motor principal y un controlador general que consta de una placa electrónica que contiene una arduino MEGA 2650, además de todas las protecciones necesarias para la reducción de ruido en el sistema y una etapa de potencia para los elementos de alimentación trifásica. Así se espera un mejor funcionamiento de la máquina cumpliendo de manera eficiente la demanda del mercado.

PALABRAS CLAVE:

- **ARDUINO**
- **ENCOLADO**
- **SULBY 7**

ABSTRACT

Briuve is a company located in Quito, which provides variety of design and printing services, one of the many is binding or gluing of books. To satisfy the demand of its customers the company has a brand bend machine of books Sulby 7, which operates entirely by mechanical systems. Due to the age of the machine, some devices have been hurt, so the machine works partially. This document provides information about the initial status, operation and equipment in good condition of the machine, and then proposes an automation solution that can improve the activity. For this proposed system, many facts were analyzed and taken, as well as the cost-benefit in the materials choice. Presence and temperature sensors were implemented, control instruments as buttons and switches, a frequency converter for controlling the main engine and a general controller consisting in an electronic board containing a MEGA 2650 Arduino, all necessary protections were implemented to reducing noise in the system and a power stage for three-phase power elements. With this expects a better performance of the machine and can fulfill customers demand.

KEYWORDS:

- **ARDUINO**
- **BONDING**
- **SULBY 7**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El desarrollo del sistema constituirá el control de cada uno de los subprocesos que realiza la máquina tales como; control de temperatura de la cola (pegamento), control de velocidad del motor principal, control del pegado de portadas, monitoreo del proceso a través de la interfaz, la conexión necesaria entre el controlador y el HMI, así como la sensorización necesaria para cada uno de estos subprocesos; permitiendo a los operadores calibrar la máquina, para reducir pérdidas en la producción.

Briuve “soluciones gráficas” es una mediana empresa que trabaja desde 1994, con alta participación en el mercado ecuatoriano, ofreciendo servicios de diseño y diagramación, corte, pre-prensa, impresión offset, dobladora, y terminados. El año de fabricación de las máquinas con las que cuenta la empresa se encuentra alrededor de los años 90 en conjunto, con un tiempo de trabajo cercano a las 6 horas diarias.

El encolado de libros al calor es un proceso que se realiza como última etapa al momento de crear un libro y sacarlo al mercado, el proceso de encolado es un proceso complejo que requiere de condiciones óptimas de trabajo, para que el producto pueda ser de competencia en el mercado.

El proceso de encolado al calor consiste en pegar las hojas que formaran parte del libro, el proceso inicia con calentamiento de la cola a una temperatura de 80 grados. Cuando la cola se encuentra en la temperatura necesaria se procede a alinear las hojas, para someterlas posteriormente a unas cuchillas con la finalidad de igualarlas y realizar cortes que ayudan a un mejor pegado. Una vez realizados los cortes, las hojas pasan por rodillos manchados con la cola para de este modo continuar con el empastado. Algo importante que se debe recalcar es que la máquina tiene un sistema de poleas, por lo que al poner en marcha el motor se acciona todo el sistema.

Una vez conocido el proceso y las condiciones necesarias para el encolado de libros, es posible aseverar que, sin las condiciones necesarias, es imposible ofrecer un producto con calidad necesaria para competir en el mercado.

El presente proyecto se presenta para ofrecer una automatización, así como también una interfaz humano-máquina para una encoladora al calor de libros que posee la empresa, la misma que en la actualidad no opera al 100% lo cual produce pérdidas en la producción. Con este proyecto el proceso será más eficiente y seguro.

1.2 Justificación e importancia

La empresa BRIUVE cuenta con una máquina encoladora de libros de marca Sulby 7 Clamp Perfect Binder de los años 80, la cual funciona con fallas en varios subprocesos, por daños en su sistema eléctrico-electrónico; debido al año de fabricación, el mercado no ofrece los repuestos necesarios para su reparación, por tal razón la empresa se ve en la necesidad de buscar soluciones para poner esta máquina completamente operativa.

Debido a los inconvenientes mencionados y problemas de pérdida de material al realizar calibraciones, el presente proyecto se realiza con la finalidad de automatizar y alargar la vida útil de la máquina encoladora, mediante la implementación de un sistema de control, sea este, mediante una tarjeta Arduino o un PLC, el mismo que será sometido a pruebas de funcionamiento en este ambiente industrial.

El desarrollar este proyecto permitirá que la empresa presente una mayor producción debido a la flexibilidad y eficiencia que proporciona el sistema de automatización a implementar, además se pretende mejorar la rentabilidad de la producción, mediante la reducción de errores; si el sistema de control implementado funciona de manera correcta.

La aplicación de conocimientos adquiridos a lo largo de la trayectoria estudiantil, permitirá la automatización de la máquina y un monitoreo constante del proceso a través de una interfaz humano-máquina, evitando pérdidas económicas para la empresa.

La seguridad es un aspecto que juega un papel importante, debido a que con este proyecto el operario realiza la calibración de la máquina con una velocidad controlada, evitando riesgos que corría al realizar dicha calibración a velocidad de producción.

La automatización de la máquina no contempla la alimentación de papel tampoco de portadas, ya que eso se trata de procesos diferentes al tratado en este proyecto.

La automatización y puesta en marcha de la máquina será de gran ayuda no solo en la empresa BRIUVE, si no en otras imprentas ya que poseen la misma máquina en

condiciones similares a la actual, y en el país no existe un representante técnico o comercial de esta máquina encoladora.

La documentación que se realizará a lo largo del proyecto servirá para la empresa, porque actualmente no posee documentación técnica de la máquina, y con esta documentación se podrá realizar mantenimiento y mejoras a futuro.

1.3 Alcance del proyecto

El presente proyecto se centra en la automatización y puesta en marcha de una máquina encoladora de libros; el proyecto se dividirá en varias etapas las cuales contemplan las siguientes actividades: Identificación de elementos, levantamiento de planos eléctricos del sistema, diseño, simulaciones, implementación y pruebas en el sistema.

Como primera etapa del proyecto se realizará la identificación de sensores y actuadores que posee la máquina, sus especificaciones técnicas y la función que cumple dentro del proceso, con la información recolectada se realizará una documentación técnica que servirá de apoyo a lo largo del proyecto. La documentación técnica que se realizará serán diagrama P&ID y diagrama eléctrico, en esta etapa además se deberá identificar las variables que se manipularán al momento de diseñar el sistema de control, así como también los subprocesos que se ven involucrados.

La siguiente etapa contempla el diseño del sistema de automatización. Para lo cual se necesita tener en claro las técnicas de control que se utilizarán para cada uno de los subprocesos identificados en la etapa inicial. Además, se realizará un análisis y dimensionamiento del controlador Arduino, o PLC en el caso que el controlador no funcione en el ambiente industrial, y de los elementos necesarios para realizar la implementación. En esta etapa se incluye el diseño de la interfaz gráfica de control, las normas que va a seguir la misma, los dispositivos necesarios para su implementación y el software necesario para la realización del HMI. Cuando culmine esta etapa se realizarán simulaciones con el controlador programado sin insertarlo aun en el sistema de encolado, con lo cual se puede obtener las validaciones necesarias para un correcto funcionamiento del sistema.

Como etapa final se realizará la implementación del sistema de automatización y las pruebas pertinentes de funcionamiento del mismo. Para que la máquina entre en

funcionamiento debe superar una etapa de pruebas, las cuales consistirán en errores sometidos a la máquina, para comprobar cada una de las validaciones realizadas. De ser necesario se realizará reajustes y correcciones principalmente en el software del sistema, para llegar al funcionamiento eficiente del sistema y de la máquina.

El desarrollo del sistema constituirá el control de cada uno de los subproceso que realiza la máquina tales como; control de temperatura de la cola (pegamento), control de velocidad del motor principal, control del pegado de portadas, monitoreo del proceso a través de la interfaz, la conexión necesaria entre el controlador y el HMI, así como la sensorización necesaria para cada uno de estos subprocesos; además se pretenderá implementar sensores necesarios para conocer si las hojas están alineadas correctamente, para reducir pérdidas en la producción.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Automatizar una máquina encoladora de libros y comprobar el correcto funcionamiento de una tarjeta Arduino en ambientes industriales mediante la programación de técnicas de control, con interfaz humano-máquina, para mejorar la calidad de los libros de la empresa “BRIUVE”.

1.4.2 Específicos

- Diseñar e implementar un sistema eléctrico - electrónico robusto tomando en cuenta la normativa industrial.
- Diseñar e implementar mediante software una placa electrónica que integre las conexiones del controlador con los actuadores y sensores.
- Integrar una interfaz Humano – Máquina robusta, capaz de transmitir datos en tiempo real.
- Presentar un manual técnico con la finalidad que la empresa cuente con un respaldo técnico ante futuros daños o averías.
- Evaluar el desempeño de la máquina del controlador para conocer si trabaja de manera eficaz y segura dentro de este ambiente industrial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Encuadernación de libros

2.1.1 Definición

Se llama encuadernación o encolado de libros a la acción de coser, pegar, grapar o fijar varias hojas sueltas, pliegos o cuadernos generalmente de papel y ponerles cubiertas. Los tipos de encuadernación tienen por objeto procurar tres factores: conservación, fácil manejo y presentación artística y comercial. En la venta habitual de libros comerciales se distingue entre las encuadernaciones de tapa dura y las de tapa blanda. La encuadernación de tapa dura recibe el nombre de encuadernación cartoné, mientras que la de tapa blanda en inglés conocida como paperback o softcover, es un tipo de encuadernación en la que el libro, cosido o pegado con cola, está forrado simplemente con una cubierta de papel o de cartón, generalmente fuerte, aunque no necesariamente rígida, y encolada al lomo. Si además las hojas no se cosen, sino que solamente se pegan, el costo de la pieza es menor. Si en vez de pegarse, tanto las hojas interiores como las tapas van simplemente grapadas, el costo es menor todavía.

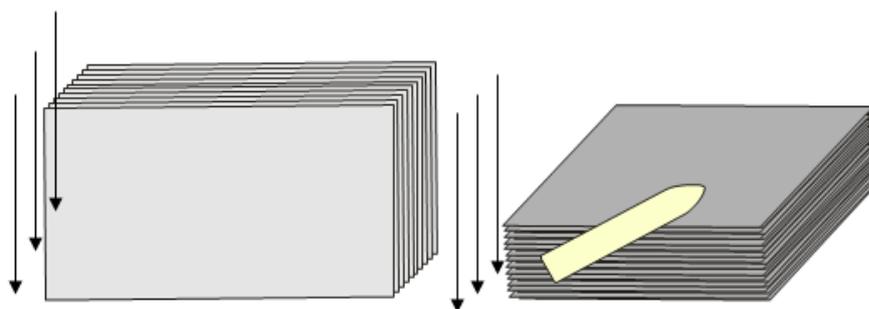
2.1.2 Tipos de encuadernación

2.1.2.1 Encuadernación simple encolada

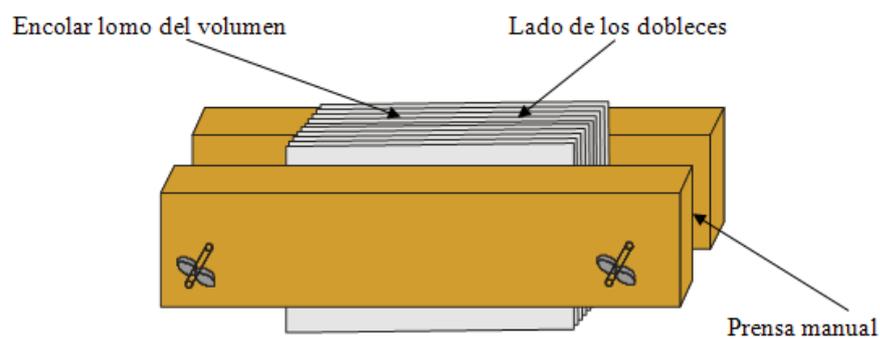
Es la que se realiza por medio del encolado de las hojas y sólo se recomienda aplicar para los volúmenes de hojas dobladas. Si se quiere armar un volumen o libro de hojas sueltas (fotocopias) con encolado, se tiene que aplicar una variante en la forma del encolado, que se lo verá más adelante.

- Paso 1: Doblar las hojas impresas, empleando una plegadera o cortar por su parte posterior de forma completamente uniforme. En la figura 1 a), se indica gráficamente el primer paso de encuadernación por encolamiento.
- Paso 2: Prensar las hojas dobladas y encolar por el lado de las hojas dobladas. En la figura 1 b), se muestra gráficamente el procedimiento descrito.

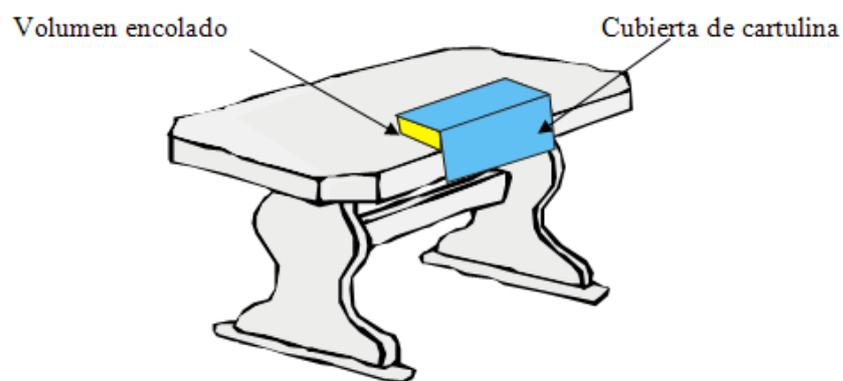
- Paso 3: Colocar cubierta de cartulina. Se encola el lomo y se pega la cubierta. En la figura 1 c), se muestra gráficamente el procedimiento descrito.
- Paso 4: Medir, marcar y trazar las líneas de refilado del libro. En la figura 1 d), se muestra gráficamente el procedimiento descrito.



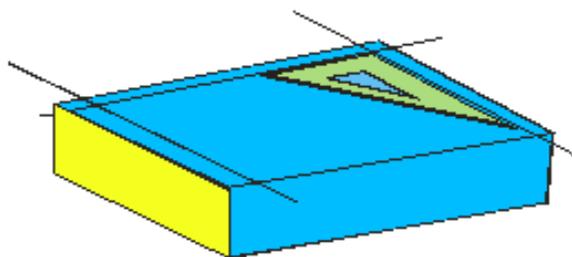
a)



b)



c)



d)

Figura 1 Pasos para encuadernación por encolado.

Fuente: (Cartagena, 2011)

2.1.2.2 Encuadernación simple grapada

Es una variante de la anterior forma de armar un volumen o texto, la diferencia es que se agrega un elemento que viene a ser la grapa. Se emplea este método para armar libros de hojas sueltas, pero de no más de 120 hojas y para talonarios que tiene una parte que se desglosa y una parte fija con las grapas.

Se aplica para hojas sueltas y previo al grapado se le da un encolado simple para facilitar el grapado. Es importante mencionar que se utiliza, no una grapadora de escritorio, sino una grapadora denominada de palanca o una cosedora de alambre eléctrica. En la figura 2 se muestra las formas para colocar las grapas, cabe recalcar que dependerán del tamaño de las hojas y del tipo de impresión, es decir, que se utiliza impresión doble en hojas A3, la grapa será en el centro libro, como por ejemplo las revistas.

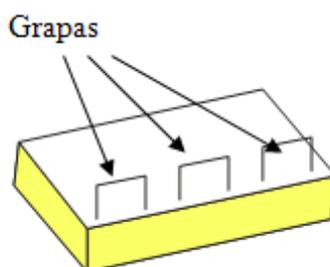


Figura 2 Proceso de encuadernación por grapado.

Fuente: (Arrospide Mego, 2007)

2.1.2.3 Encuadernación cosida

Es la técnica por la cual se emparejan las hojas de un texto, empleando el cosido manual o por máquina. En esta oportunidad sólo se tratará el cosido a mano. Se hará mención únicamente de la más sencilla y que se puede aplicar incluso para remplazar al grapado. Este es el cosido puntillado también llamado tipo tesis porque se aplica para el encuadernado y empaste de las tesis. En seguida se describe el procedimiento que se realiza para este tipo de encuadernación.

- Paso 1: El conjunto de hojas sueltas se presan y se encola. Luego de secar la cola, se saca de la prensa, se mide, marca y procede a hacer los agujeros por donde se realizará el cosido, tal como se indica en la figura 3 a).
- Paso 2: Con una lezna y martillo se procede a perforar las hojas siguiendo una línea de 0.5 cm. de margen del filo del lado de las hojas encoladas, tal como se indica en la figura 3 b).
- Paso 3: Cortar una hebra de hilo pavilo y parafinar (pasar con parafina) el hilo.
- Paso 4: Proceder a cocer, ingresando la aguja por el segundo agujero ya sea del lado superior o inferior seguir hacia el otro extremo pasando la aguja de un lado al otro. Luego regresar yendo hacia el punto de partida y por último realizar el nudo especial y cortar el hilo sobrante, tal como se indica en la figura 3 c).
- Paso 5: Al salir la aguja por el último agujero, se procede a anudar, pero este es un nudo especial el cual nos permite realizarlo sin ayuda y lograr que no se afloje el cosido o las puntadas anteriores, tal como se indica en la figura 3 d).
- Paso 6: Después de hacer el nudo anterior se hace otro nudo normal. Luego se coloca una tira de papel de 120 grs. de 1 cm. de ancho y del largo del volumen, sobre las puntadas en ambas caras del libro, tal como se indica en la figura 3 e).
- Paso 7: Por último, se procede a refilar los tres lados del volumen y quedará listo para confeccionar su empaste.

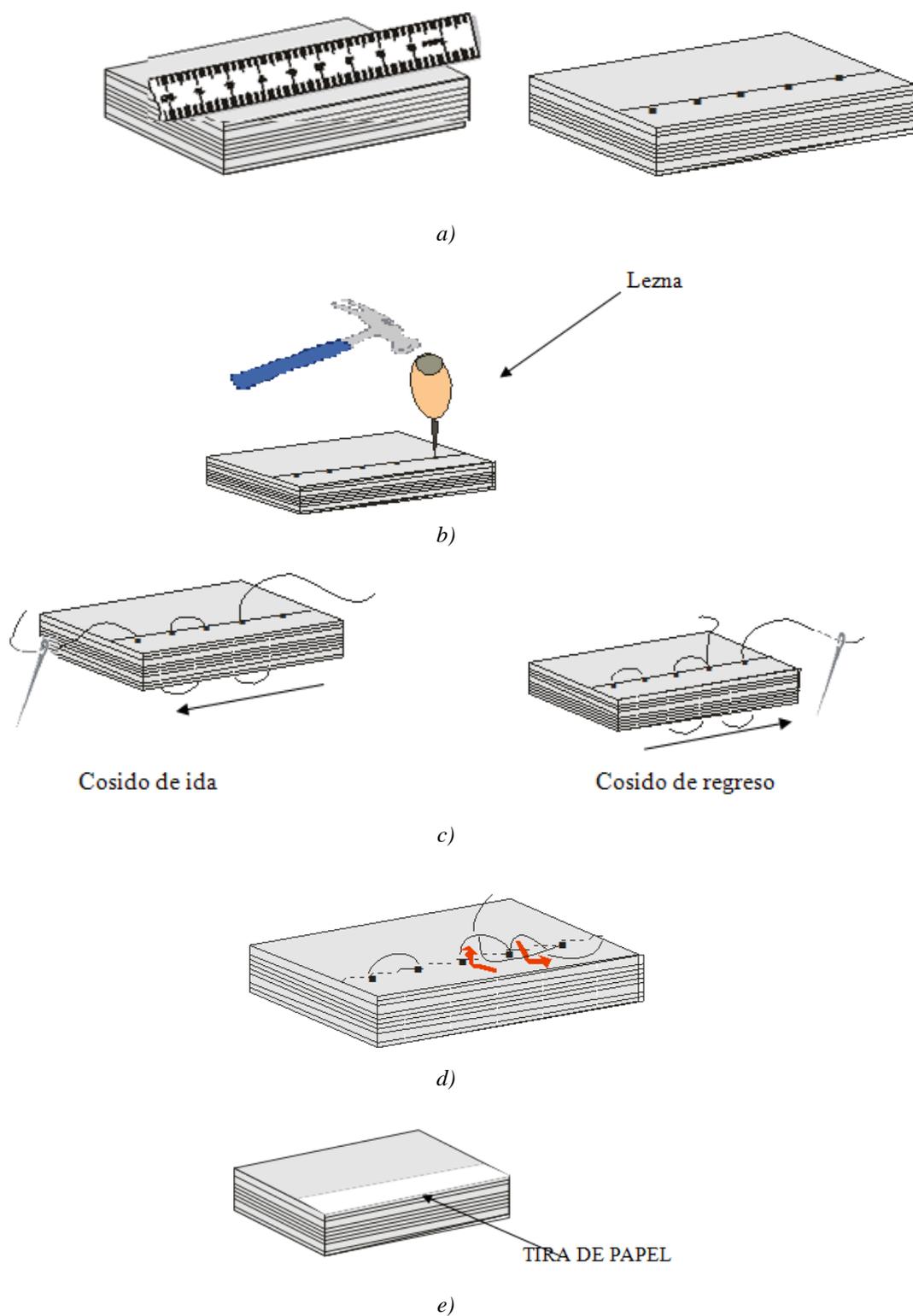


Figura 3 Proceso de encuadernación cosida.

Fuente: (Arrospide Mego, 2007)

2.1.3 Máquinas Automáticas de Encuadernación Encolada

Tradicionalmente en las imprentas se ofrece dos tipos de encuadernación: la encuadernación fresada o encolada y la encuadernación cosida. La encolada, más económica, tiene el inconveniente de que las hojas pueden despegarse si se abre mucho el libro o se le da un uso muy intensivo. La cosida es más resistente, pero presenta también inconvenientes, como por ejemplo ser más cara, y tratarse de un proceso de producción más largo, al tener que realizar el cosido de los pliegos de interior. Para estos tipos de encuadernación en el mercado existen máquinas que ayudan a cubrir la demanda de gran producción en las imprentas. En esta sección se mencionará a groso modo de las características de las máquinas que utilizan el encolado para la encuadernación.

2.1.3.1 Maquinas Encoladoras de Goma

Se hace referencia de máquinas encoladoras rústicas o máquinas encoladoras de goma a aquellas que utilicen cola para el proceso de encuadernación. Existen algunos tipos de presentación de la cola para el encolado dependiendo de la aplicación y tipo de adherencia. En la tabla 1, se muestra los diferentes tipos de cola en el mercado y sus aplicaciones.

Tabla 1
Tipos de pegamento para encolado.

Presentación	Tipo	Color	Uso	Envases	Características
Barra	Caliente	Amarilla	Pegado especial	Cajas, paquetes	Aplicador de barras
Grasa	Líquida-Fría	Blanca, Transparente	Laterales	Garrafón,	Aplicación manual o con máquina especial
Gránulos	Caliente	Blanca, Transparente	Lomo	Cajas, Sacos	Encolado de lomos en máquina.

El tiempo de curación total de este tipo de colas no sobrepasa a las 2 o 3 horas y su uso puede ser continuo sin importar la exposición a la humedad del ambiente. Con respecto a las características de las máquinas, tienen 3 pasos importantes, el corte de

las hojas mediante una fresa, el engomado y el pegado con la portada. Estos procesos pueden darse en dos tipos de máquinas: encoladoras lineales y giratorias. Las encoladoras Lineales son aquellas que tienen un único carro de prensa de hojas, este realiza el fresado, encolado y pegado con la portada en secuencia. En la figura 4 se muestra una máquina encoladora lineal de la marca Sulby



Figura 4 Encoladora lineal de marca Sulby

Fuente: (Pdt, 2012)

Las encoladoras giratorias son aquellas que tienen más de un carro de prensa de hojas y giran en base a un sistema mecánico mediante motores eléctricos y un sistema de control más sofisticado. Su producción es mayor debido al paso continuo de los carros por los diferentes procesos de encolado. En la figura 5 se tiene una máquina encoladora giratoria de la marca BRACKETT. Hay que hacer referencia a que estos tipos de máquinas son antiguas, la goma debe ser calentada hasta hacerse líquida previamente lo cual conlleva tiempo y la aplicación de esta es mediante rodillos y el sistema de control de este tipo de máquinas se maneja mediante sensores tipo switch y lógica cableada.



Figura 5 Encoladora giratoria de marca BRACKETT

Fuente: (Exa Pro, 2016)

2.1.3.2 Máquinas Encoladoras PUR

La encuadernación PUR, también conocida como fresada PUR se refiere a la utilización de cola formulada a base de polímero de uretano (Poly Uretano Reactivo) en la encuadernación de libros. Puede considerarse como parte de las nuevas tecnologías en encolamiento ya que su terminado es mucho mejor debido a la rigidez que provee. También está diseñada para soportar márgenes de temperatura entre -20 y + 140 °C. Este margen hace que los libros encuadernados con PUR puedan enviarse a cualquier destinación o clima. Una de las desventajas es que su tiempo de curado debe ser aproximadamente de 8 horas, ya que recién en este tiempo se puede ver las propiedades de rigidez en un 100%.

Otra desventaja es que la cola PUR reacciona o cura con la humedad del aire y del papel. Esto condiciona el tiempo que puede estar en un tanque sin usarse. Aproximadamente, al cabo de dos horas, es necesario sustituir esta cola, ya que ha

perdido propiedades químicas y su adherencia estará afectada. Mientras la cola en el tanque se está usando, no importa que ésta esté en contacto con la humedad del aire.

Las máquinas encoladoras PUR también pueden ser lineales o giratorias, pero a diferencia de las de goma, la goma es colocada mediante inyección controlada y el tanque PUR debe cumplir ciertas condiciones de hermeticidad, por esto, ciertas máquinas ofrecen sistemas para prevención y mantenimiento de la cola de tal forma que después de cada carga de PUR, se inyecta aire seco para conservar el adhesivo PUR operativo hasta el siguiente uso, por un máximo de dos semanas.

En la figura 6 se indica una máquina encoladora PUR de tipo giratoria del año 2006 de la marca Horizon, esta máquina contiene 5 carros y utiliza un sistema de extracción de vapores para el tanque de PUR e inyección para colocación en el lomo de las hojas.



Figura 6 Encoladora PUR giratoria de marca HORIZON

Fuente: (Interpresas net, 2016)

2.2 Encoladora de libros Sulby 7 Clamp Perfect Binder

2.2.1 Introducción

La máquina Sulby 7-Clamp Perfect Binder es una encoladora de tipo giratoria que utiliza cola fundida al calor para encuadernar los libros con portadas de tapa blanda. Tiene un sistema de control de lógica cableada. Su estructura es enteramente de metal y consta de varias estaciones las cuales son la de fresado, engomado, despacho de portada y pegado. En la figura 7, se indica la vista frontal de la máquina encoladora. En la tabla 2 se detalla algunas de las características importantes de esta máquina.



Figura 7 Encoladora Sulby 7 Clamp Perfect Binder

Fuente: (WireBids, 2015)

Tabla 2

Características de Encoladora Sulby 7 Clamp

Modelo	Sulby 7 Clamp Perfect Binder
Grosor máximo de encuadernación	2 "
Velocidad de producción	Hasta 2.500 libras / hora
Tipo de pegamento de encuadernación	Pegamento Fundido al calor
Potencia del calentador	4kw
Voltaje de alimentación	220V - 3 fases
Frecuencia	60 Hz
Peso de la máquina	700kg
Dimensiones de la máquina	L2500×W1500×1300mm

2.2.2 Descripción del proceso general

El proceso general consiste en un motor central que hace girar 7 carros en sentido horario, a través de varios procesos que lleva a un grupo de hojas, a ser encoladas con una portada de tapa blanda, mediante la máquina Sulby 7.

Todo el proceso general se describe a continuación:

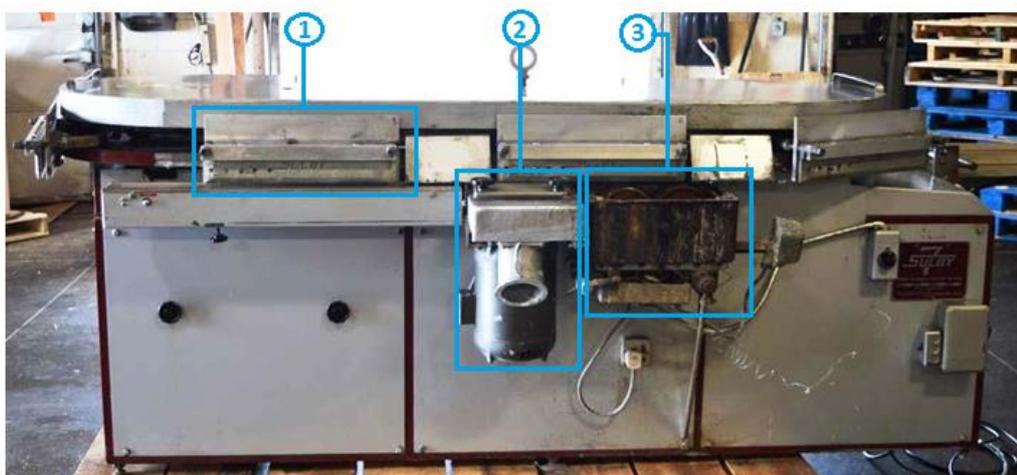


Figura 8 Vista Frontal de la máquina Encoladora de libros Sulby 7

Fuente: (WireBids, 2015)

1. El proceso empieza con la colocación en los carros que, mediante acción mecánica, prensa las hojas para pasar a la fresa mecánica.
2. La fresa mecánica se mantiene activa en todo el proceso y corta las hojas a un mismo nivel para poder ser engomadas.
3. En la sección de encolado se tiene goma previamente diluida para que mediante rodillos acoplados al sistema mecánico coloquen la goma en las hojas.

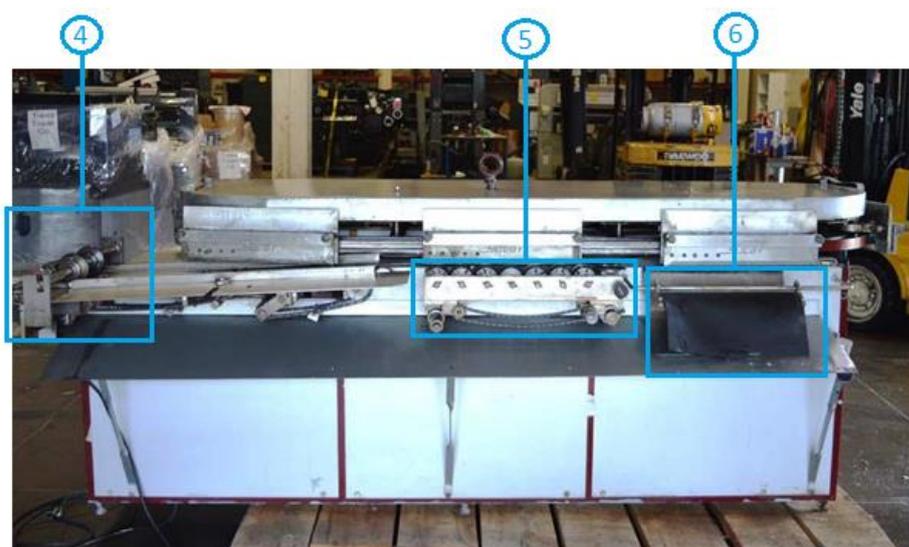


Figura 9 Vista Posterior de la máquina Encoladora de libros Sulby 7

Fuente: (WireBids, 2015)

4. En la sección 4 se encuentra el alimentador de portadas, las portadas son liberadas mediante un sensor de presencia llevadas al encuentro con las hojas mediante una cadena con eslabones
5. La portada acoplada con las hojas es presionada por rodillos para mejorar la fijación del libro.
6. El libro terminado se desliza hacia la bandeja final donde puede ser retirado para sus cortes finales.

2.2.3 Ansicola HM-477

La ANSICOLA HM-477 es un adhesivo de fusión en caliente, especialmente diseñado para el pre-recubrimiento y unión en el borde de los materiales de madera, melanina o poliéster, papel, etc. Se caracteriza por el ajuste rápido (por enfriamiento), la facilidad de aplicación y la viscosidad correspondiente cuando se utiliza en aplicador automático, tal como HARDO. En la Figura 10 se indica la forma de presentación y empaquetado de este pegamento. A continuación, se indican las especificaciones generales de este pegamento:

- Gránulos color Blanco.
- Viscosidad: (Brookfield RVT-DVII con Thermosel) spdl 28/5 rpm desde 170 ° C 60.000 CPS, de 180 ° C 48.000 CPS y de 190 ° C 40000 CPS.
- Punto de fusión (R & B, ASTM E28): 90 °C.
- Reactivación de temperatura: 90-120 °C.
- Velocidad de enfriamiento alta.
- Vida útil es de aproximadamente 1 año a partir de la fecha de producción de embalaje de papel o bolsas de plástico de 25 kg.
- El producto debe protegerse de la exposición a la luz solar en frío, y de temperaturas extremas.



Figura 10 Empaquetado y presentación de la ANSICOLA HM-477

Fuente: (Badrinas S.A., 2015)

2.3 Sistemas de Control

2.3.1 Conceptos básicos

2.3.1.1 Automatización

La automatización se trata de un sistema que traslada tareas propias de un proceso, realizados comúnmente por un operador a un conjunto de elementos tecnológicos. La automatización es una disciplina compuesta no solo por los sistemas de control si no también por la instrumentación industrial (sensores, transmisores de campo), sistemas de transmisión y recolección de datos y sistemas de control y supervisión.

En la actualidad la automatización industrial maneja un concepto fundamental conocido como sistema de control distribuido (DCS). Un DCS (sistema de control distribuido) se forma de varios niveles de automatización organizados en la llamada “Pirámide de automatización”, esta pirámide recoge cinco niveles tecnológicos que intervienen en un entorno industrial, dichas tecnologías se relacionan entre sí dentro de cada nivel y fuera de ellos mediante diferentes estándares de comunicación industrial.

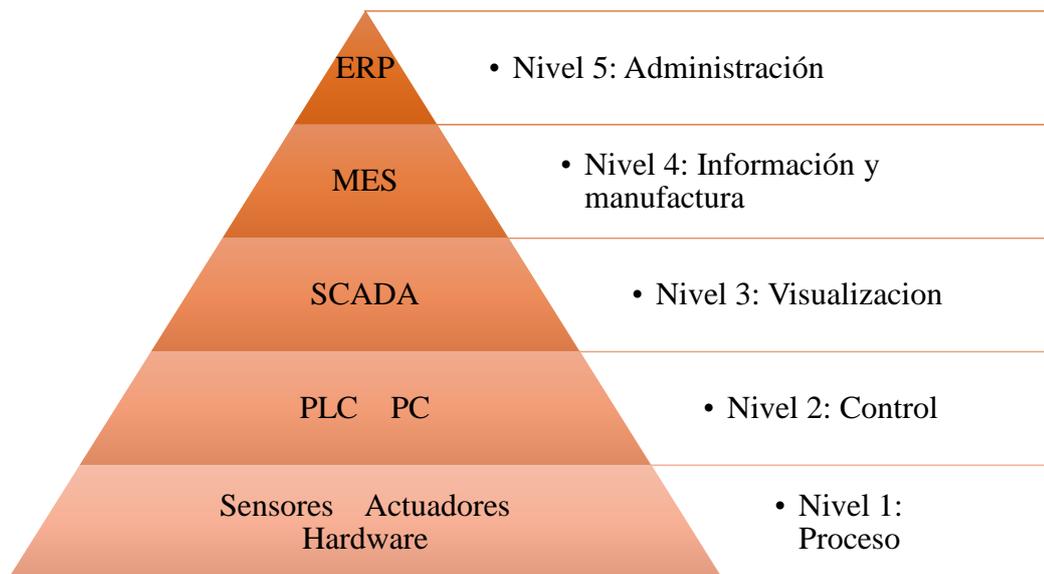


Figura 11 Pirámide de Automatización

Cada nivel está constituido de diferentes elementos tecnológicos que juegan un importante papel dentro de la automatización industrial. El primer nivel o “nivel de campo” agrupa dispositivos físicos presentes en el proceso, tales como sensores y actuadores. El segundo nivel o “Nivel de control” contiene controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc. En el tercer nivel (nivel de supervisión) se ubican los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). El siguiente nivel corresponde a los sistemas de ejecución de la producción (MES). La cúspide de la pirámide la componen los sistemas de gestión integral de empresa (ERP).

2.3.1.2 Sistemas de control

Se trata de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema. Un sistema de control maneja indirectamente valores de un sistema controlado, el objetivo de ello es gobernar el sistema sin que el operador intervenga directamente en sus elementos. El operador manipula valores de referencia y el sistema de control se encarga de transmitirlos al sistema controlado mediante su interfaz de salidas. Comúnmente se maneja dos clases de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado.

Control en lazo abierto

Los sistemas de lazo abierto generan una salida dependiendo únicamente de su entrada, este tipo de control no posee un lazo de retroalimentación para que se pueda ajustar la acción de control. El control en lazo abierto es sencillo, su precisión depende únicamente de la calibración previa del sistema. Estos sistemas son controlados de manera directa por medio de un transductor y un actuador, utilizados para modificar o adaptar la señal de salida.

A continuación, se muestra un diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto:

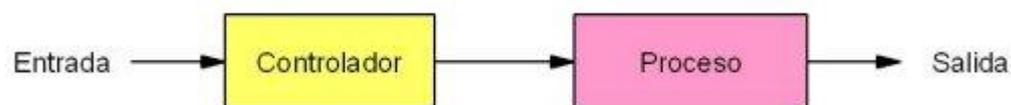


Figura 12 Diagrama de bloques de sistema de control en lazo abierto

Fuente: (Bueno, 2014)

Control en lazo cerrado

Denominados también sistemas de control realimentados, en estos sistemas la señal de salida interviene en la acción de control. Este tipo de control es necesario cuando un proceso no puede ser regulado por el hombre y cuando un proceso necesita vigilancia y el operador puede fácilmente perder la concentración debido a cansancio o despiste.

Las principales características de los sistemas de control en lazo cerrado son:

- El control es complejo, pero con gran variedad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada, tomando efecto directamente en el control del sistema.
- El sistema se ve menos afectado a perturbaciones y variaciones internas.
- Este control usa un transductor o sensor que muestra la salida real del sistema controlado.

La siguiente figura muestra el diagrama del control en lazo cerrado.

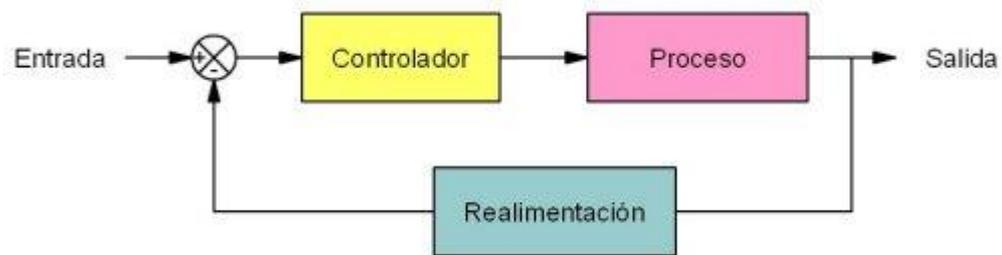


Figura 13 Diagrama de bloques de sistema de control en lazo cerrado

Fuente: (Bueno, 2014)

2.3.2 Clasificación de sistemas de control según su tecnología

Los sistemas de control según el tipo de tecnología pueden ser clasificados de la siguiente manera:

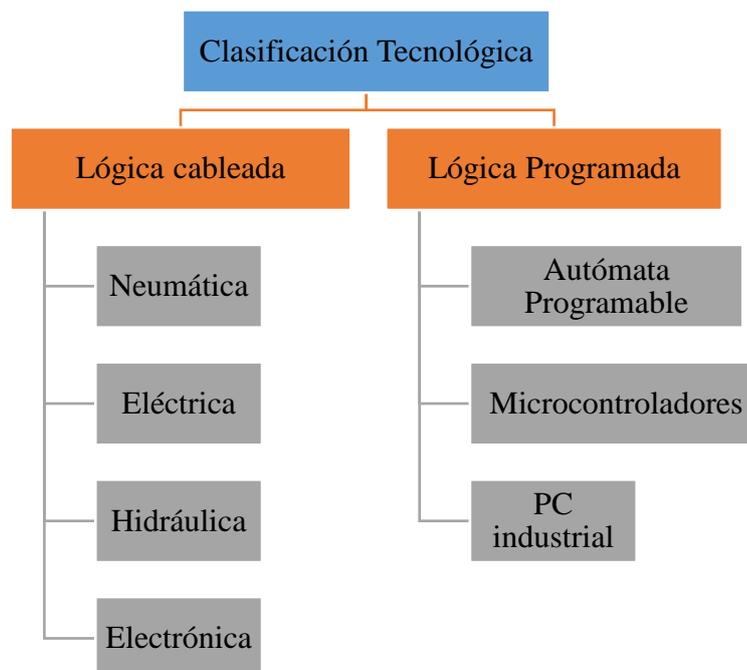


Figura 14 Clasificación de sistemas de control según su tecnología

2.3.2.1 Lógica cableada

Conocida también como lógica de contactores, la lógica cableada es una forma de realizar controles mediante contactores o relés auxiliares, comúnmente asociados a contadores y temporizadores. En el ámbito industrial la lógica cableada utiliza elementos como relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, válvulas neumáticas, entre otros. Es decir, los elementos discretos utilizados en la

lógica cableada se basan en el electromagnetismo, elementos eléctricos, elementos hidráulicos, elementos neumáticos, elementos electrónicos, etc.

Visto desde la teoría la lógica cableada funciona de manera similar a la lógica tradicional, ya que las variables tienen dos estados posibles, verdadero o falso. El estado verdadero representa un relé energizado, en caso de los contactos se toma como cerrado y el estado falso es un contacto abierto y relé desenergizado. En los circuitos digitales, se utiliza el sistema binario.

En un circuito de lógica cableada la identificación de los cables y las borneras juegan un papel indispensable, de ahí la necesidad de etiquetar o marcar los cables manteniendo un criterio. Principalmente un cable se lo puede identificar mediante la bornera donde está conectado o con una enumeración detallada en los planos. El objetivo de esta identificación es facilitar el trabajo del técnico que realiza la instalación, del personal de mantenimiento y del proyectista que realizó los planos.

La lógica cableada se la puede clasificar según el tipo de elementos que se utilizan para el control, a continuación, se enumeran los siguientes tipos:

- Lógica cableada basada en Neumática
- Lógica cableada basada en Hidráulica
- Lógica cableada basada en Eléctrica
- Lógica cableada basada en Electrónica

La lógica cableada neumática basa su funcionamiento en elementos que utilizan el aire como medio de accionamiento, dentro de los principales elementos se puede citar las válvulas, válvulas reguladoras de caudal, válvulas selectoras, válvulas de simultaneidad, válvulas temporizadas, entre otras. Elementos similares usa la lógica cableada en hidráulica con la diferencia que el medio de accionamiento son líquidos como aceites.



Figura 15 Válvula neumática

Fuente: (FESTO, 2016)

Los relés electromecánicos, relés de estado sólido, temporizadores, contactos auxiliares contactores, compuertas lógicas y diodos son elementos utilizados en lógica cableada eléctrica y electrónica, los contactos utilizado en este tipo de lógica pueden ser normalmente cerrado o normalmente abierto.

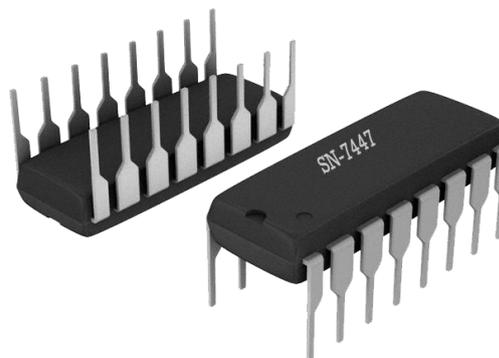


Figura 16 Compuerta Lógica

Fuente: (tech make Electronics, 2016)

Esquema de Conexión

Los esquemas de conexión son representaciones de las conexiones de los componentes de la lógica cableada, muestran la ubicación y características de cada elemento de forma real. Consiste en una de las formas más utilizadas para mostrar las conexiones y su funcionamiento. Actualmente para representar este tipo de esquemas se utiliza programas denominados CAD, se dibujan en varias hojas numeradas, las

conexiones y elementos son referenciados de una hoja a otra, así como la coordenada de columna – fila.

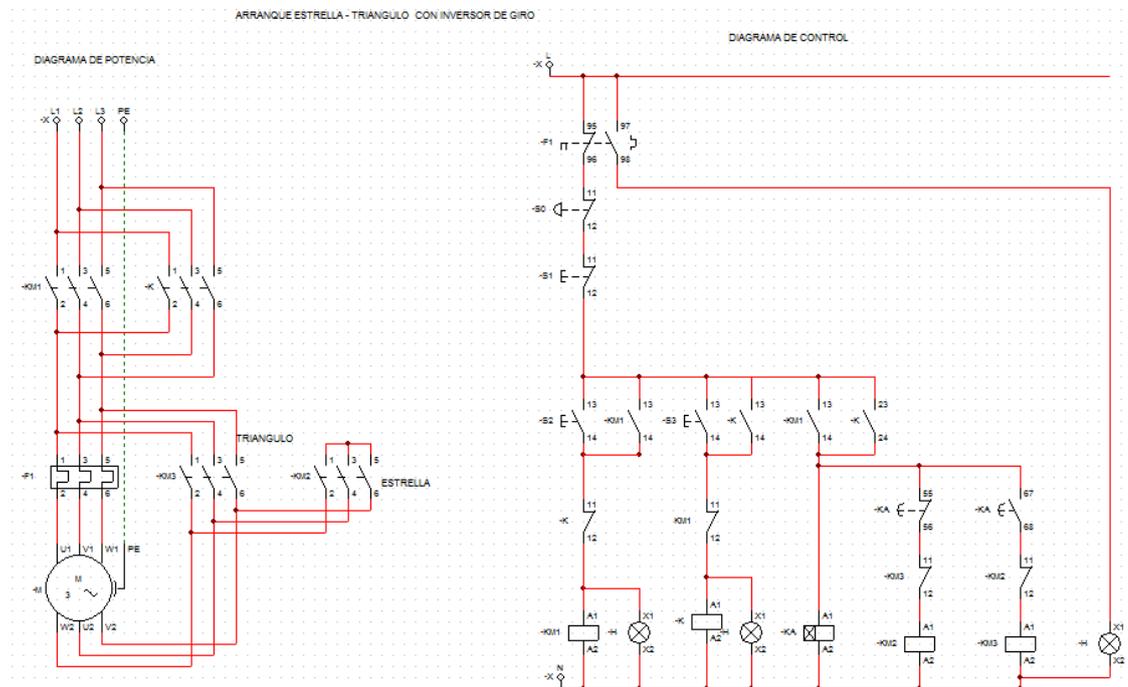


Figura 17 Esquema de conexión de arranque estrella – delta de un motor

Fuente: (Galeano, Pachon, Garcia, & Nupan, 2013)

2.3.2.2 Lógica Programada

Son sistemas que cumplen las mismas funciones que los sistemas de lógica cableada, utilizando chips o dispositivos que permite la reconfiguración de los circuitos mediante cambios en el software. Una de las principales ventajas que presentan los sistemas con lógica programada es la rapidez de ejecución y la facilidad para ejecutar operaciones complejas, la lógica programada basa su funcionamiento en dispositivos lógicos programables, los cuales no poseen una función establecida. En la lógica programada los elementos de mando (relé, contactores, temporizadores, etc.) son controlados por PLC's, autómatas programables o relés programables.

Al momento de configurar los dispositivos de lógica programada, cada fabricante utiliza una nomenclatura diferente pero el mismo tipo de lenguaje, basado en la norma IEC 1131-3 se puede citar los siguientes tipos de lenguajes: KOP (esquema de contactos), FUP (diagrama de funciones), AWL (lista de instrucciones) y SCL (lenguaje de texto estructurado). El principal objetivo de este tipo de automatismo es

reemplazar la intrusión de personas en procesos, los cuales mediante elementos externos puedan realizar ciclos completos de operación según lo programado en el autómata.

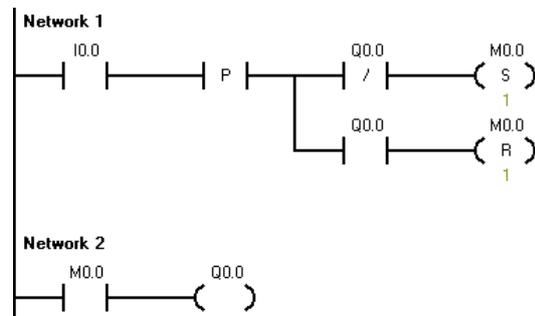


Figura 18 Programa en lenguaje KOP

Fuente: (Oscar, 2009)

El control mediante lógica programada se puede clasificar por la tecnología de los elementos de la siguiente forma:

- Microcontroladores
- Controladores lógicos programables
- PC's Industriales

Microcontroladores

Se trata de circuitos integrados con memoria para el almacenamiento de programas, un procesador para ejecutar dichos programas y pines o buffer de entrada/salida. Los microcontroladores difieren entre sí por la gama a la que pertenecen (mini, baja, media, alta), la principal diferencia entre cada una es la capacidad de almacenamiento, número de puertos y funciones. En este dispositivo se programa una instrucción, orden, secuencia, etc. Mediante lo cual con otros dispositivos eléctricos y electrónicos forman un sistema automatizado.

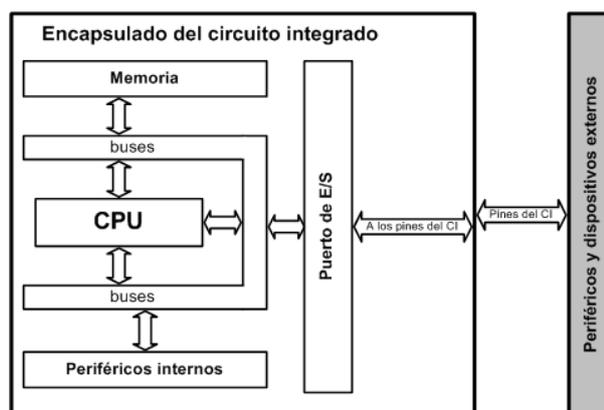


Figura 19 Arquitectura de un Microcontrolador

Fuente: (Moran, 2012)

Los microcontroladores pueden componerse por memorias RAM, ROM, EPROM. Forman parte de los PLC's y de computadores industriales. Una de las principales ventajas que presenta se trata de la posibilidad de realizar cambios en el proyecto simplemente realizando modificaciones en el software que ejecuta las funciones programadas, además posee una flexibilidad por lo que se ocupa en casi cualquier aplicación. El uso de compuertas lógicas y otros componentes electrónicos se redujo debido a las facilidades que brinda un microcontrolador. El principal problema que presenta un microcontrolador al momento de ser aplicado como dispositivo de automatización industrial es la dificultad de conectar equipos de potencia (motores, cilindros, etc.).

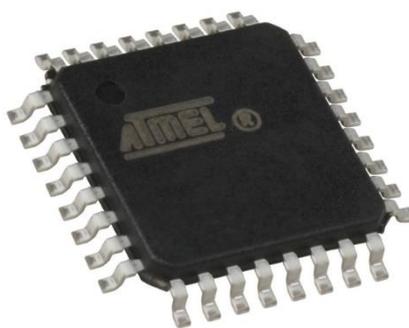


Figura 20 Microcontrolador ATMEL

Fuente: (Direct Industry, 2016)

Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC es un dispositivo utilizado para la automatización de procesos y control de máquinas, el plc una memoria para almacenar instrucciones, realizar funciones de lógica secuencial, entre otras funciones. Este dispositivo fue diseñado para trabajar en ambientes industriales, siendo inmune al ruido eléctrico y capaz de manipular múltiples señales de entrada y salida.

Un PLC opera atendiendo a sus entradas y dependiendo de estas, para conectar o desconectar sus salidas. En el ámbito industrial se aplica con frecuencia debido a la robustez que posee, ya que ocupa elementos de estado sólido, además no posee partes mecánicas en movimiento lo que alarga su vida útil. Un PLC puede ser compacto o modular o semimodular.

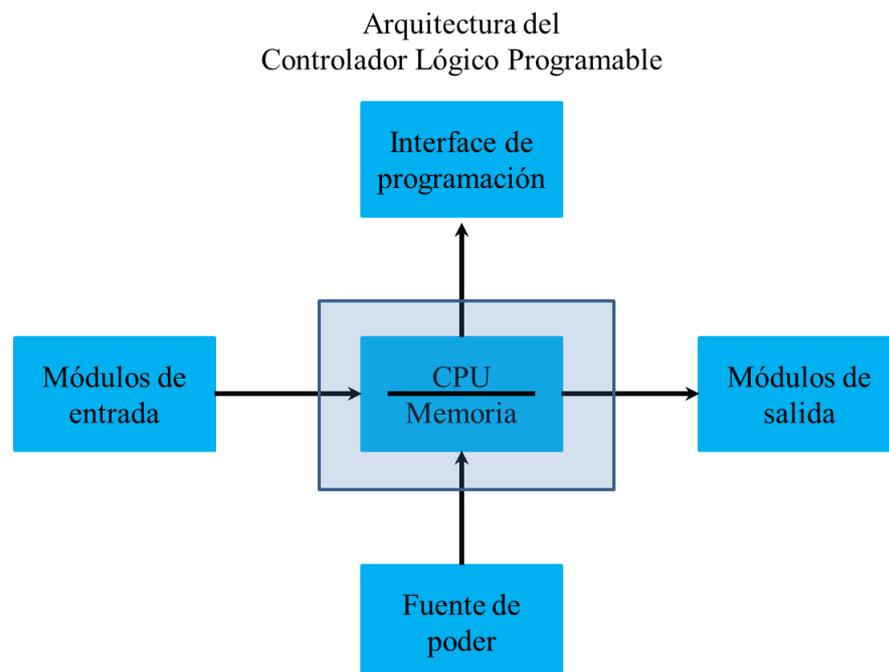


Figura 21 Arquitectura de un PLC

Fuente: (Arias, 2013)

Estos dispositivos a más de ser utilizados para el control de máquinas y procesos industriales se utilizan en la aplicación de estrategias de control, ya que puede manejar controladores PID. El volumen de almacenamiento, potencia de procesamiento y enlaces de comunicación de los PLC's modernos son características similares a una PC industrial.

Las principales fortalezas que presentan estos autómatas programables son que manejan menos puntos de conexión, solo necesitan señales de campo (sensores, actuadores). Debido a diagnósticos de fallas y enlaces de comunicación que manejan, encontrar y solucionar problemas se realiza con rapidez. Gracias a los visualizadores de campo, la verificación de señales es inmediata. Entre las principales desventajas se tiene los elevados costos de implementación.



Figura 22 PLC marca Siemens modelo S7-1200

Fuente: (Carrillo López & Morales Mayorga, 2015)

Computador Industrial

Se trata de un sistema electrónico de control conformado por un pc común adecuado y armado para trabajar en un entorno industrial y dispuesto a soportar condiciones ambientales adversas (polvo, humedad, interferencia, altas o bajas temperaturas). Son muchas las ventajas que ofrece un pc industrial en el control de procesos, entre las cuales sobresale el brindar mayor eficacia en las operaciones, mayor seguridad y reducción significativa en operaciones manuales.

El pc industrial permite la implementación de algoritmos de control avanzados. El principal propósito de estos sistemas fue reemplazar los controladores analógicos, pero la capacidad del pc ha crecido constantemente que en la actualidad mediante un pc se puede realizar el control integral de una planta. Las aplicaciones más destacadas de un computador industrial son:

- Adquisición de datos: recolección, interpretación y almacenamiento de datos.

- Supervisión: el pc industrial generalmente no efectúa directamente el control sobre el proceso, si no se conecta a controladores como: autómatas, reguladores PID, etc., mediante una red de comunicación industrial.
- Control Secuencial: El computador realiza funciones similares a un autómata programable, ejecutando programas de control en sistemas secuenciales.
- Control Analógico Digital: forma de control donde el computador crea la consigna de bucles analógicos.
- Control Digital Directo: El pc ejecuta el control continuo directamente en el proceso mediante tarjetas de interface.
- Análisis de Datos: herramienta de gestión donde los datos de producción se analizan con instrumentos de ofimática.

Estos PC industriales presentan la desventaja principal en el costo de implementación y de mantenimiento.



Figura 23 PC industrial marca SIEMENS

Fuente: (Direct Industry, 2016)

2.4 Bluetooth

2.4.1 Introducción

Se trata de una tecnología de comunicación de red de área personal inalámbrica (WPAN) para datos y voz. Se basa en un radio enlace de bajo costo y corto alcance, proporcionando conexiones rápidas (ad hoc) para entornos móviles y estáticos. Esta tecnología trabaja en dos capas del modelo OSI, enlace y aplicación, compuesto por

un transmisor y un emisor que operan en una frecuencia de 2.4 GHz, trabajando bajo el estándar IEEE 802.15.

Los dispositivos que incorporan tecnología bluetooth se reconocen y transmiten datos entre sí, como lo hacen una computadora con una impresora. El canal permanece abierto y no existe la necesidad de que el usuario u operador intervenga cada vez que se desee enviar datos. Este tipo de tecnología fue diseñado para la conexión de equipos como: teléfonos, impresoras, auriculares, ratón, teclado y otros.



Figura 24 Logo de comunicación bluetooth

Fuente: (Campuzano, 2016)

Bluetooth fue creado y desarrollada por Ericsson en 1994. Empresas como Agere, Ericsson, IBM, Intel y otras 200 en febrero de 1998 crearon el llamado Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group), trabajando juntos para perfeccionar las características para Bluetooth 1.0, lo cual fue publicado en 1999.

2.4.2 Características

Bluetooth maneja velocidades aproximadas de 1 Mbps, realizando 1600 saltos por segundo en modo full dúplex. Bluetooth posee 3 clases de transmisores, variando el alcance según la potencia radiada, clasificando de la siguiente manera:

- Clase 1 con potencia máxima de 100 mW, potencia permitida de 20 dBm y alcance de 100 m.
- Clase 2 con potencia máxima de 2.5 mW y potencia permitida de 4 dBm y alcance de 10 m.
- Clase 3 con potencia máxima de 1 mW y potencia permitida de 0 dBm y alcance de 1 m.

Para dispositivos Bluetooth no es necesario un enlace con línea de vista para realizar la transmisión de datos, por lo que los dispositivos pueden enviar y recibir datos aun si se encuentran separados por un muro, con el beneficio de detectarse entre sí, mientras se encuentran dentro de rango del alcance. Cabe recalcar que la cobertura de

los dispositivos clase 2 aumenta si se utiliza un transceptor de clase 1, esto se debe a la sensibilidad y potencia de transmisión de un dispositivo clase 1.

Por operar en la banda de frecuencia de 2.4 GHz no necesita una licencia, la seguridad es uno de las principales ventajas de la tecnología Bluetooth. La transmisión de datos se puede realizar de manera síncrona o asíncrona, además utiliza protocolos de alto nivel como SDP que ayuda a evitar problemas de interferencias.

2.4.3 Protocolo Bluetooth

La tecnología bluetooth trabaja con una arquitectura piconet, la cual se conforma por un maestro y hasta siete esclavos activos a una distancia de 10 metros. Varias redes piconets se pueden conectar mediante nodos conocidos como puentes, los cuales son esclavos comunes entre redes piconets, a este tipo de conexión se la denomina scatternet.

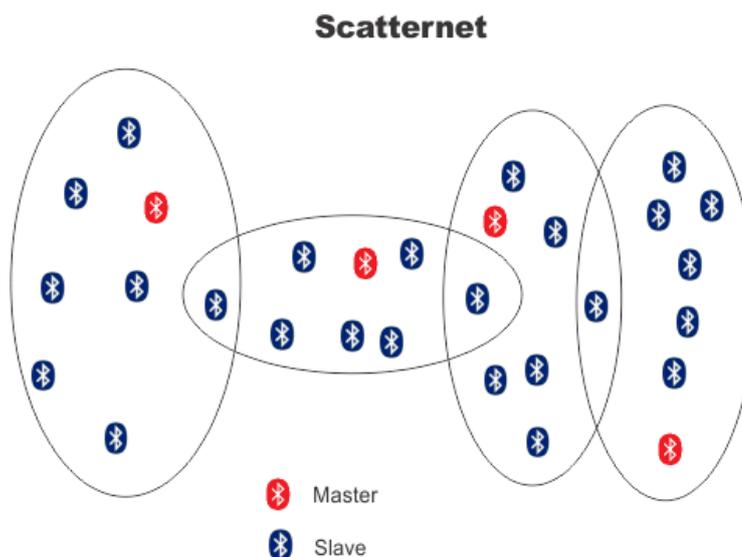


Figura 25 Diagrama de una red scatternet

Fuente: (Zingade, 2015)

2.4.3.1 Pila de protocolos Bluetooth

La tecnología bluetooth prioriza su funcionamiento para conseguir aplicaciones con diferentes fabricantes manteniendo una fluida transmisión de datos, para alcanzar este objetivo tanto el emisor como el receptor deben trabajar sobre la misma pila de protocolos. La pila de protocolo Bluetooth incluye los protocolos bluetooth

específicos, como por ejemplo link manager protocol (LMP), logical link control and adaptation protocol (L2CAP) y los no específicos, object Exchange protocol (OBEX), point to point protocol (PPP), Wireless application protocol (WAP). Cuando se creó este protocolo se pensó en la reutilización de los protocolos existentes en ese momento, permitiendo así operar aplicaciones existentes con tecnología bluetooth aprovechando hardware y software de los sistemas que cumplen las especificaciones para bluetooth.

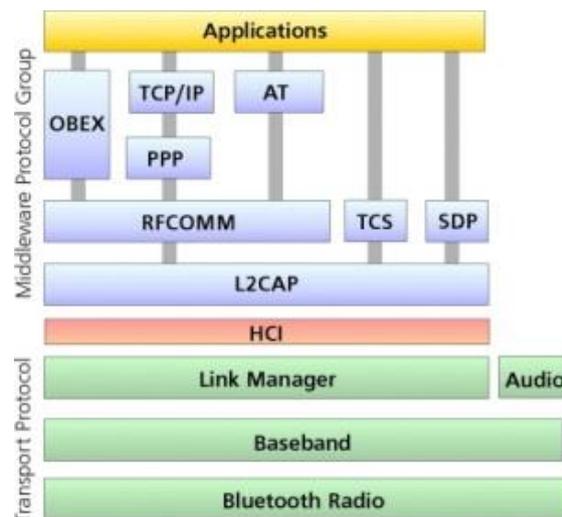


Figura 26 Pila de protocolos bluetooth

Fuente: (Ruiz Pavon, 2016)

La capa de radio especifica los requisitos que debe cumplir el emisor y el receptor, define aspectos como sensibilidad del transmisor – receptor, agrupando en tres clases citadas en la sección de características de este apartado. La capa de banda base es la capa física, utilizada para controlar el enlace, encargada también de crear la conexión entre dispositivos junto con el link manager (administrador de enlaces), el cual establece canales lógicos.

El Host Controller Interface (HCI) permite el acceso mediante comandos a la banda base y al link manager para controlar y recibir información sobre el estado. El protocolo encargado de aislar las capas superiores de los datos de transmisión es el L2CAP. De similares características a la subcapa LLC del estándar 802. Este protocolo ayuda a que las aplicaciones reciban y envíen paquetes de datos de hasta 64 Kb. El RFCOMM es el protocolo que emula un puerto serie RS232 de los ordenadores para conexión de dispositivos como teclados, ratones, entre otros. Se construye sobre L2CAP y permite sesenta conexiones simultáneas, se basa en el estándar ETSI TS 07.10.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1 Estado inicial de la máquina

En este apartado se indica cual es el estado inicial y funcionamiento de la máquina encoladora, que elementos utiliza para cada proceso, cuales están en desuso que podrían ser reutilizados y cuales ya cumplieron su vida útil. A partir de la información recolectada, se pretende idear una solución de automatización acorde a la necesidad del cliente, presentada en el capítulo anterior, para poder repotenciar la máquina.

3.1.1 Descripción de los subprocesos

3.1.1.1 Sistema de temperatura

En la primera parte del proceso, se encuentra el fresado y engomado. En la figura 27, en la ubicación 1, se encuentra la fresa que corta las hojas uniformemente debido al paso del carro de prensado de hojas, los residuos son liberados por el orificio de la ubicación 2 para su posterior desecho. Esta fresa es manejada por un motor trifásico de 3HP de potencia y este se mantiene encendido todo el tiempo en el que el proceso de encolado se realiza.

El sistema de temperatura como antes se hizo una breve mención se basa en calentar la cola a una temperatura de 90°, después de pasar por el proceso de fresado, en la ubicación 3 se encuentra la niquelina que calienta el recipiente metálico que contiene el pegamento. El control de temperatura es realizado mediante un dimmer que regula la cantidad de corriente que llega a la niquelina y de esta manera evitar el calor excesivo debido a la máxima potencia de la niquelina. Cabe recalcar que el control que se hace no es retroalimentado, es decir no existe un sensor que asegure que la temperatura escogida para la goma es en realidad la verdadera que se tiene en el proceso. La ubicación 4 muestra los rodillos que mediante acción mecánica del motor central giran para colocar el pegamento en el lomo de las hojas.

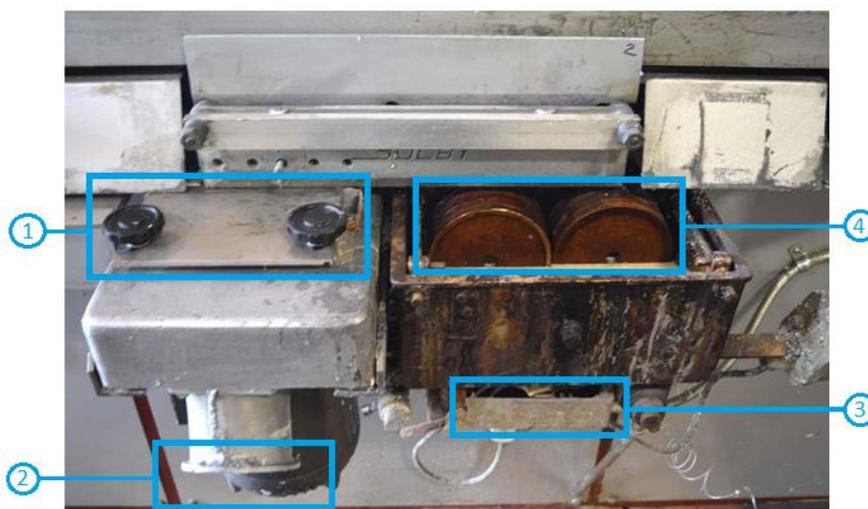


Figura 27 Ubicación de la fresa niquelina y rodillos de la máquina encoladora

3.1.1.2 Sistema de velocidad

Todo el sistema de movimiento se basa en un único motor eléctrico que mediante transmisión mecánica hace girar los carros de prensa de hojas, el despachador de portadas y los rodillos de donde se encuentra el pegamento. En la figura 28, se encuentra el motor central, mediante el cual la regulación de la tensión de la banda se realiza el control de velocidad de la máquina.



Figura 28 Ubicación del motor principal de la máquina encoladora

En el proceso de despacho de portadas trabaja a la misma velocidad de los carros de prensado de hojas, en la figura 29 en la posición 1, se encuentra un pistón, que, mediante la señal del sensor de posición, debería activarse para el despacho automático de portadas, pero inicialmente se encuentra desconectado, debido a esto la colocación de las portadas en el punto de empuje se lo realiza manualmente por un operador. La portada al ser disparada por el pistón, es empujada por eslabones en una cadena, tal como se muestra en la posición 2 de la figura 29, estos son separados por distancias exactas uno del otro, para de esta manera acoplar mecánicamente la llegada de los carros con las hojas engomadas con el encuentro con la portada. La figura 29, se indica la posición del sensor de presencia activado por palanca, que se encuentra en desuso debido a que no representa ningún tipo de entrada para el sistema de control inicial de la máquina.

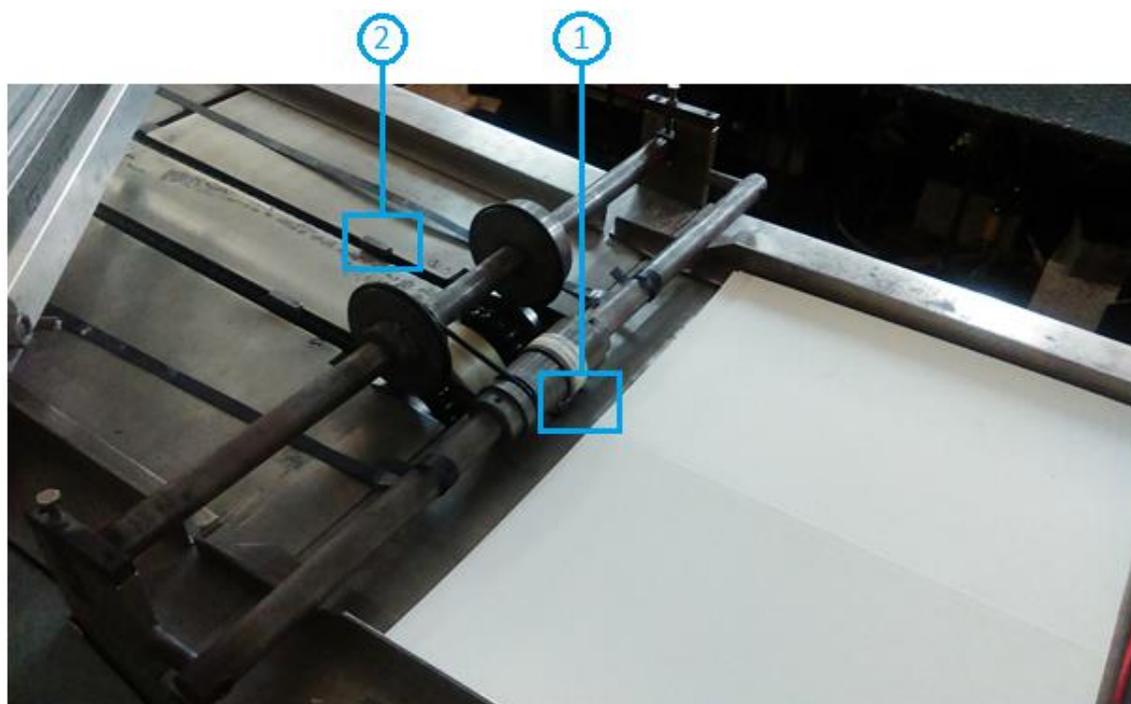


Figura 29 Despachador de portadas de la máquina encoladora



Figura 30 Ubicación del motor principal de la máquina encoladora

3.1.2 Descripción del controlador

La máquina encoladora de libros maneja un control cableado basado en arrancadores suaves para el control de los motores principal y de cuchillas, la bobina del arrancador se energiza mediante el botón negro, ubicado en el panel de control de la máquina, una vez activado la bobina del arrancador, un contacto auxiliar del arrancador la enclava permitiendo que el motor principal se encienda mediante un pulso, de la misma manera opera el arranque para el motor de las cuchillas. En la lámina N° 2 de los planos del estado inicial de la máquina en la sección de anexos se puede observar su conexión. Mediante un pulsador normalmente cerrado se desenclava la bobina de ambos arrancadores permitiendo la parada de ambos motores trifásicos. Además, existe un sensor ubicado en la parte final de la máquina donde la prensa suelta el libro encolado, el cual realiza el paro del motor principal y de las cuchillas si la prensa no suelta el libro.



Figura 31 Sensor para el paro de emergencia

La máquina posee una botonera adicional colocada al inicio del ciclo de encolado, que realiza exactamente las mismas funciones que los botones de marcha y paro ubicados en el panel frontal. Un tornillo con el cual se tiempla o destiempla la banda que transmite el movimiento del motor principal a toda la máquina, sirve para controlar la velocidad mediante la cual se encola los libros.



Figura 32 Botonera de control adicional

La máquina posee una niquelina mediante la cual se prepara la goma para el encolado de los libros, el control de la temperatura de la goma se realiza mediante un dimmer, el cual controla la corriente que llega a la niquelina manteniendo la temperatura de la caldera lista para comenzar con el encolado, el encendido y apagado de la niquelina se realiza a través de un contactor, como se muestra en la lámina N° 3 de los planos del estado inicial de la máquina en la sección de anexos. A continuación, se muestra la caldera donde se prepara la goma.



Figura 33 Caldera para calentado de la goma

Además de los dos sistemas antes mencionados la encoladora posee un sensor de presencia el cual activa un pistón electromagnético que alimenta el sistema de portadas, al momento de pasar las hojas con goma, estos dos elementos mencionados se encontraban fuera de servicio debido a daños anteriores.

3.1.3 Datos técnicos de elemento funcionales

Para poder generar una propuesta de automatización es necesario recaudar información de los elementos que aun puedan funcionar para la repotenciación de la máquina, como motores sensores y actuadores. Después de una revisión minuciosa, los elementos funcionales encontrados en la máquina son descritos a continuación con sus datos técnicos correspondientes.

Tabla 3

Datos técnicos del motor principal

Motor Principal	
Motor asíncrono trifásico	
Especificaciones	
Marca	Dayton
Modelo	2N104 – L
Voltaje de operación	220 V / 440V
Corriente	2.7 A / 1.35 A
Potencia	$\frac{3}{4}$ Hp
Velocidad	1725 / 1425 rpm
Frecuencia	60/50 Hz
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Estado	Operativo

Continúa



Tabla 4

Datos técnicos del motor cuchillas

Motor Cuchillas	
Motor trifásico	
Especificaciones	
Marca	Normand Electrical
Modelo	185388 – 4
Voltaje de operación	220 V
Corriente	9,4 A
Potencia	3 Hp
Velocidad	3400 rpm
Frecuencia	60 Hz
Estado	Operativo



Tabla 5

Datos técnicos de la niquelina

Niquelina	
Niquelina tubular	
Especificaciones	
Voltaje de operación	220 VAC
Corriente	18,18 A
Potencia	4000 W

Continúa



Tabla 6

Datos técnicos de los contactores

Contactor	
Contactor de 3 polos con contactos auxiliares	
Especificaciones	
Marca	SASSIN
Modelo	3SC8
Tensión de la bobina	110 / 220 V
Corriente (3 polos)	12 A
Frecuencia	60 Hz
Contactos auxiliares	1 NO 1 NC



Tabla 7

Datos técnicos de la botonera

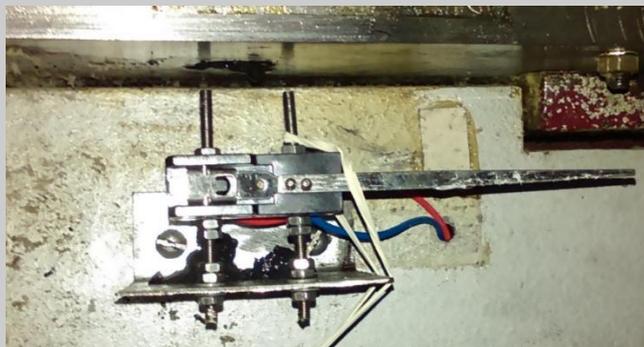
Botonera	
Dos botones, marcha – paro del motor	
Especificaciones	
Marca	Rhona
Voltaje	110 / 220 V
Corriente	12 A
Frecuencia	60 Hz
Contactos	Botón negro - NO Botón rojo – NC



Tabla 8

Datos técnicos del sensor de presencia

Sensores de presencia	
Switch de presencia de palanca	
Especificaciones	
Marca	Camsco
Modelo	Z-15GW_B
Voltaje de operación	5 – 220 VAC / VDC
Switch	1 NO 1 NC



De los elementos antes mencionados se encuentran operativos todos excepto el sensor de presencia el cual se encuentra sujeto para que el pistón electromagnético se encuentre en funcionamiento en todo momento.

3.2 Propuesta de Automatización

A partir de la información antes recolectada, se pretende dar una idea inicial que contemple la repotenciación de la máquina, la reutilización de algunos elementos y la renovación de otros para de esta manera cumplir con las necesidades de la empresa y mejorar la producción de libros. Para una mejor actividad de la máquina y del proceso, se plantea ciertas mejoras que serán enlistadas a continuación:

- Un control del sistema, tanto en modo remoto como local
- Una interfaz humana máquina para realizar el control y supervisión remotamente del sistema
- La incorporación de indicadores de temperatura y velocidad en el HMI.
- Un control electrónico de velocidad para el giro de carros de prensas.

Para llevar a cabo la propuesta inicial se debe contemplar soluciones y equipos de no muy alto costo ni sobre dimensionados, tomando en cuenta también la relación costo beneficio para la producción de los libros, ya que la empresa BRIUVE no contempla realizar una inversión elevada para la repotenciación de esta máquina ya que el funcionamiento actual de esta cumple con las necesidades de la empresa, pero se pierde demasiado material al momento de la calibración.

3.2.1 Control de temperatura

La finalidad del control de temperatura, únicamente es de cumplir con la disolución de la cola y mantenerla líquida durante todo el tiempo que la máquina se encuentre en uso para el encolado de libros. Es decir que el rango de temperatura de trabajo no debe ser exacto, por lo que no es necesario utilizar un controlador que mantenga la temperatura en un valor determinado si no simplemente entre dos valores que bordeen la temperatura deseada. El control ON/OFF con histéresis es el indicado para esta aplicación, en la figura 34, se muestra el funcionamiento básico de este control en el

cual, mediante el encendido y el apagado de la niquelina se puede mantener líquida la cola para que la máquina pueda trabajar.

Para este caso especial se realizó un control ON – OFF con histéresis, con un rango superior diferente de del rango de histéresis inferior, ya que cuando el valor de temperatura se eleva, solo supera en 3 grados el valor del setpoint para apagar el actuador, y por el contrario cuando el valor de temperatura baja, se activa el mismo cuando disminuye en 10 grados al setpoint. Estos valores fueron calibrados mediante prueba y error ya que, al desconectar la niquelina, la caldera sigue manteniendo su temperatura, así de igual forma derritiendo por más tiempo la goma, así que se espera que la goma reduzca su temperatura en 10 grados como mínimo para poder activar la niquelina de nuevo y mantener la goma lo suficientemente líquida para que trabaje la máquina con normalidad.

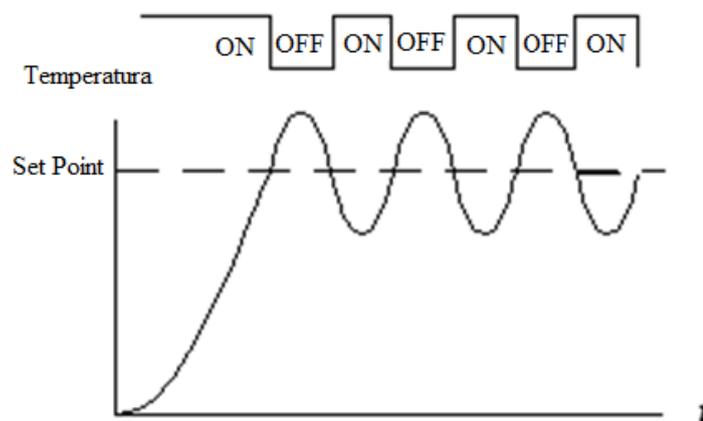


Figura 34 Control ON/OFF para la niquelina de máquina encoladora

Fuente: (Gutiérrez Damián, 2013)

Para el sensado de la temperatura, se plantea utilizar una termocupla tipo K. Se escogió este sensor ya que la medición se encuentra entre 10 y 200°C aproximadamente, no necesita ser precisa y la distancia del sitio de medición no supera los 10 metros de distancia, además de ser uno de los sensores más utilizados a nivel industrial por su eficacia. Para el acondicionamiento de la señal generada por este sensor se utilizará un circuito integrado AD595, el cual genera una señal de salida lineal de 10mV/C. Con esto se pretende acortar la circuitería y obtener una señal de temperatura real, rápida y con el menor ruido posible. La conexión del integrado se muestra en la figura 35, esta es la conexión básica recomendada por el fabricante para

una fuente de 5v. En la figura 36, se muestra un esquema en 3D de cómo será la instalación de la termocupla en la caldera que será capaz de calentar la goma para utilizarla en el encolamiento de los libros.

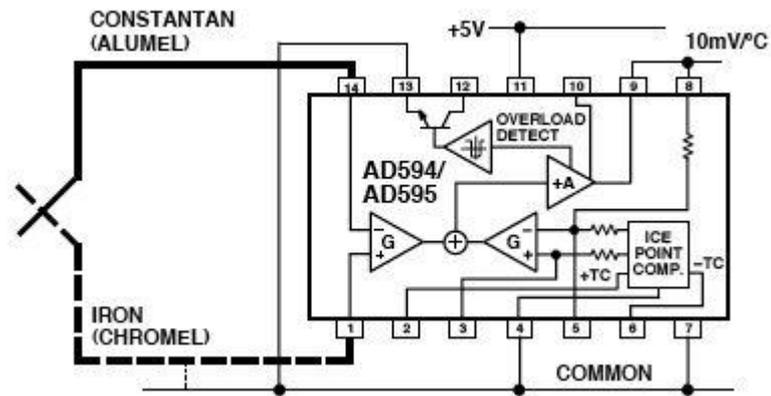


Figura 35 Configuración básica para AD595

Fuente: (Timothy, 2014)



Figura 36 Esquema 3D de propuesta de instalación de sensor de temperatura.

3.2.2 Control de velocidad

El control de velocidad es un requerimiento de la empresa, ya que, con la reducción de velocidad del giro de los carros de prensado de hojas, se puede aprovechar el uso de todos estos en el momento de colocar las hojas, evitando que pase uno vacío, la velocidad se podrá setear en un rango de 0 a 1750 revoluciones por minuto. Esta variación de velocidad se utiliza además para la calibración en el empastado, permitiendo sincronizar la alimentadora de portadas con los carros de prensado, mediante ajuste mecánico. Un variador de frecuencia es una opción clara de solución ya que este es un dispositivo electrónico que permite variar la velocidad rotacional de un motor, actuando sobre la frecuencia de la corriente eléctrica que llega a él, además puede ser configurable de tal manera que mediante señales de entradas analógicas o digitales pueda controlar la velocidad de dicho motor. Los beneficios que pueden ofrecer los variadores de frecuencia para esta aplicación específica son los siguientes:

- No tienen elementos móviles, ni contactos, como en el caso de los contactores.
- Permite arranques suaves, sin transiciones o saltos.
- Posibilidad de ajustar en tiempo la rampa de aceleración del motor.
- Ahorrar energía cuando el motor funciona parcialmente cargado, esto debido al gran torque que representa mover todo el sistema de carros de la máquina.
- Mejor rendimiento y aumenta la vida útil del motor.
- El equipo no tiene limitación en cuanto al número de arranques, como sucede con la vida de los contactos.

3.2.3 Descripción de la propuesta de automatización

Después de una revisión general del control de los subprocesos importantes del sistema, a continuación, se puede listar los elementos necesarios para esta propuesta:

- Sensores de presencia
- Sensor de temperatura (Termocupla tipo k)
- Indicadores digitales
- Controlador electrónico principal

- Módulo de alimentación para el controlador
- Variador de frecuencia
- Interfaz para comunicación con HMI

Teniendo una idea inicial de lo necesario, se puede ir desglosando de manera progresiva como se pretende repotenciar la máquina con los siguientes diagramas de procesos.

3.2.3.1 Funcionamiento del sistema.

Mediante un diagrama de bloques se da una representación gráfica a grosso modo del funcionamiento interno de un sistema y los elementos implicados en el control y supervisión del proceso. Contempla alimentación, la etapa de potencia y la comunicación que requieren todos los elementos con el controlador central. En la figura 37, se muestra el diagrama de bloque de los elementos que formaran parte del sistema de control y supervisión que será instalado en la máquina encoladora Sulby 7.

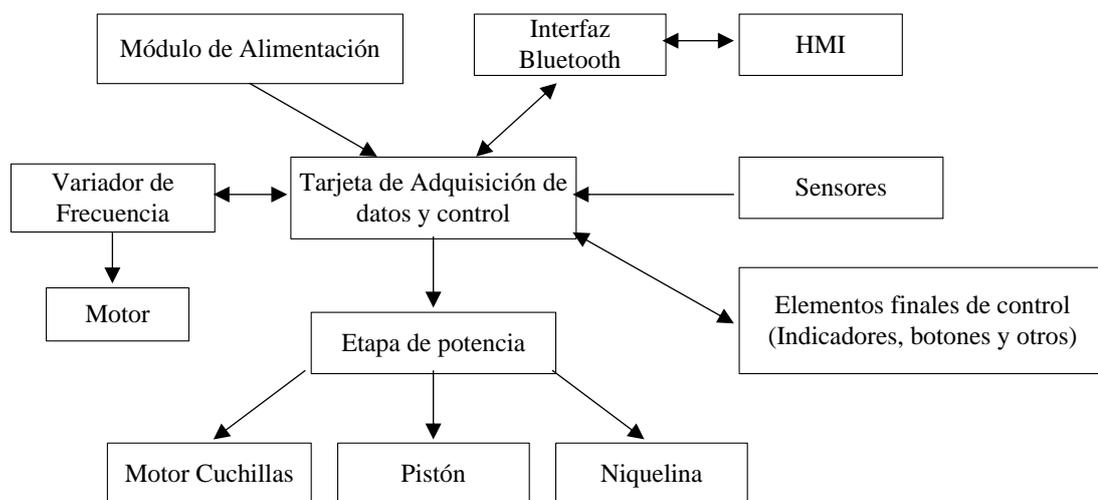


Figura 37 Diagrama de bloques de la propuesta de automatización

3.2.3.2 Descripción de la instrumentación necesaria

El diagrama P&ID muestra el flujo del proceso, así como los equipos que se instalarán y su ubicación en la máquina. En la sección de anexos (Anexo 2) se indica el plano del diagrama P&ID del funcionamiento del sistema, con un trazo general del sentido de los carros por transmisión mecánica, detalle de los subprocesos, y control general de sus entradas y salidas. Se detalla una simbología para mejor comprensión.

3.2.3.3 Descripción del algoritmo de control

Gracias al diagrama de flujo se muestra el proceso lectura y de control que será plasmado dentro del controlador para su funcionamiento. En la figura 38 se muestra el diagrama de flujo que contempla el sistema de control de la máquina encoladora de libros. En este apartado, en la figura 39, también se muestra el diagrama de flujo del subproceso de control de temperatura, ya que dentro de este se cumple ciertas condiciones importantes para el desarrollo del proceso general.

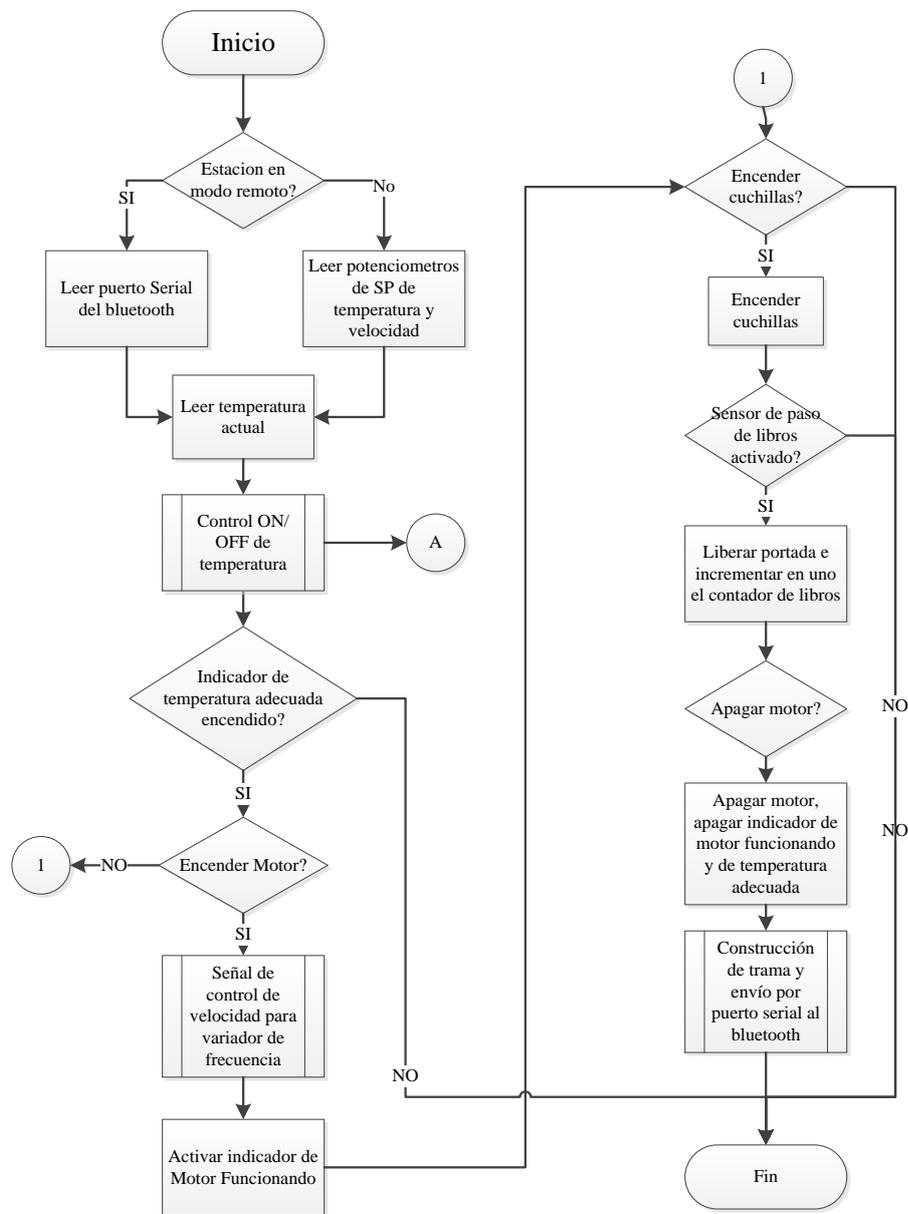


Figura 38 Diagrama de flujo del proceso general

El control principal, tiene un funcionamiento simple, que en el cual inicialmente el sistema verificara el modo en el que se quiere trabajar, ya sea local o remoto, para de esta manera escoger los valores de seteo de velocidad y temperatura desde el tablero o desde la aplicación, dependiendo del caso. El control on/off siempre estará funcionando de forma continua para mantener liquida la goma, y el motor podrá ponerse en marcha, únicamente cuando el indicador de temperatura lista se encuentre encendido, esto es para evitar danos en el sistema mecánico por la rigidez de la goma. Por último, se envía la trama a la aplicación para el monitoreo del sistema y conteo de libros terminados para los operadores.

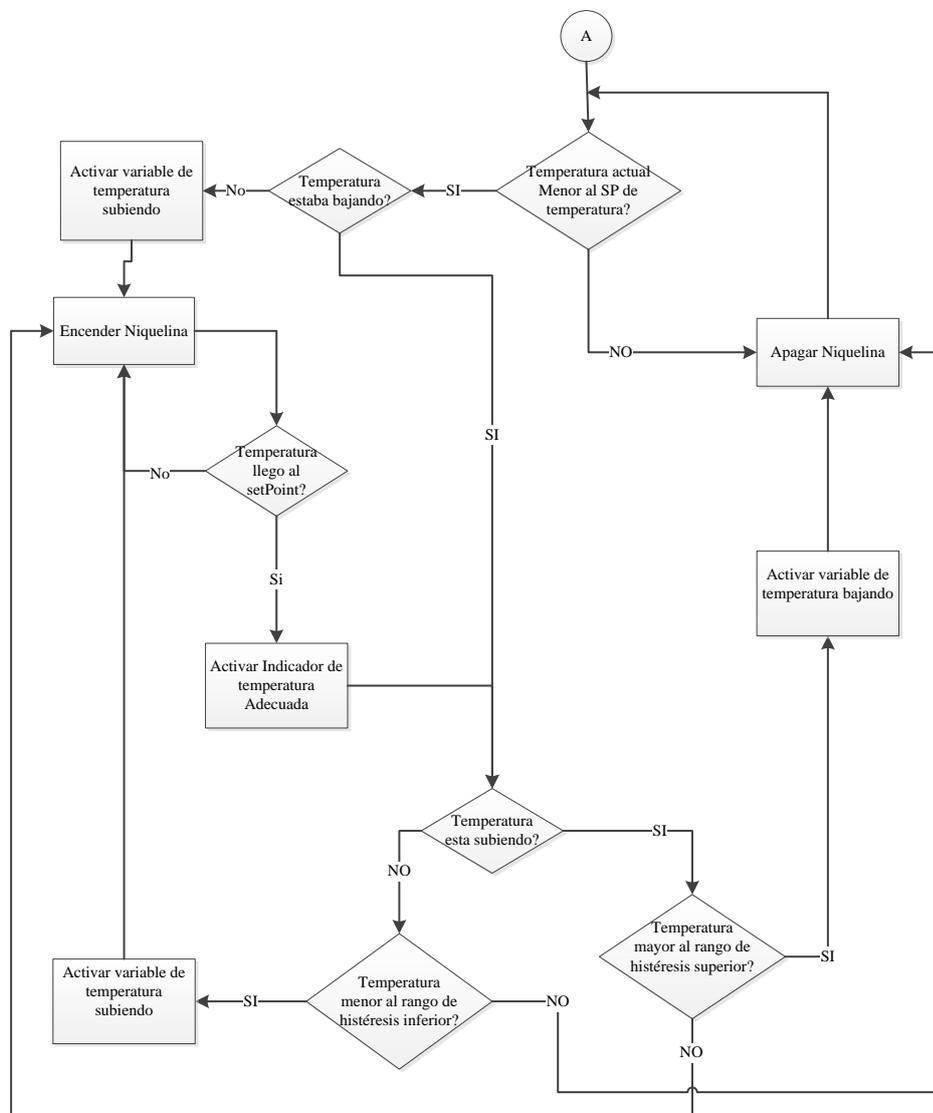


Figura 39 Diagrama de flujo del control ON/OFF de temperatura

El programa inicia haciendo una comparación con de la temperatura actual y el valor seteado, el cual elegirá encender la niquelina si esta es menor, cuando el valor

de temperatura de la goma llegue al valor seteado se activará una variable que indique que la temperatura ya llegó al valor esperado y que debe mantenerse entre dos valores, uno máximo y uno mínimo para mantener líquida la goma, es decir se encuentra dentro del rango de histéresis.

Dentro del rango de histéresis se activa una variable que indica que la temperatura se encuentra elevándose, esta se desactiva el momento que supere el límite superior, activando otra variable que indica que la temperatura debe disminuir, hasta el límite inferior, repitiendo de nuevo el paso anterior y generando así un ciclo continuo de control entre dos valores de temperatura deseados.

3.2.4 Controlador

El controlador principal es el encargado de realizar las tareas de la adquisición de datos, procesamiento y acción de control de los diferentes subprocesos del sistema. Aquí se mostrará todos los aspectos que contemplan la elección y diseño del controlador principal a partir de número de entradas y salidas, funcionalidad y protecciones necesarias para el correcto funcionamiento en el sistema.

3.2.4.1 Entradas y Salidas

Para empezar el diseño del controlador hay que revisar cuales son las entradas y salidas necesarias para cumplir con las funciones previstas. En las siguientes tablas se hace un recuento del número de entradas y salidas que se necesitan específicamente para la implementación del sistema

Tabla 9

Descripción de entradas digitales del controlador

Núm.	Entradas Digitales
1	Encender cuchillas
2	Apagar cuchillas
3	Arranque Motor
4	Apagar Motor
5	Sensor de Hojas

Continúa

6	Electro remoto/local
7	Sensor Final
8	Motor ON (estación lejana)
9	Motor OFF (estación lejana)

Tabla 10**Descripción de salidas digitales del controlador**

Núm.	Salidas Digitales
1	Luz Indicadora de Niquelina Activada (Luz roja)
2	Luz Indicadora de Temperatura Lista (Luz amarilla)
3	Luz Indicadora de Motor encendido (Luz amarilla)
4	Niquelina
5	Pistón
6	Motor de Cuchillas
7	Señal Run para Variador

Tabla 11**Descripción de salidas analógicas del controlador**

Núm.	Señales analógicas	Tipo
1	Set Point de Temperatura	Entrada
2	Set Point de Velocidad	Entrada
3	Sensor de Temperatura	Entrada
4	Señal analógica para variador de frecuencia	Salida

3.2.4.2 Selección del controlador

Para la elección del controlador se debe tomar en cuenta las condiciones previstas, una de estas fue el factor económico, de esta manera, se intenta encontrar una opción adecuada para la aplicación, la cual es el control y supervisión, local y remoto, del proceso de encolamiento mediante un HMI. Las placas arduino son una gran opción para la automatización de procesos variados, las principales ventajas son que su

programación es en base un entorno de desarrollo amigable, el bootloader puede ser ejecutado en la misma placa y existen muchas herramientas como librerías y kits compatibles para las diferentes aplicaciones. La principal desventaja es que es susceptible a ruidos por lo que no está diseñado para ambientes industriales.

Se propone realizar una placa electrónica, con las protecciones adecuadas y una etapa de potencia, la cual sea capaz de mantener estable eléctricamente a la tarjeta arduino para poder recibir señales de entrada, procesar las mismas y generar señales para el control del sistema. El Por el número de entradas y de salidas digitales, y la necesidad de señales analógicas se escoge el modelo de placa Arduino MEGA 2560.



Figura 40 Placa Arduino MEGA 2560

Fuente: (BricoGeek, 2016)

3.2.4.3 Placa electrónica

La máquina encoladora de libros SULBY 7 trabaja con un voltaje de 220V, razón por la que la placa arduino de forma individual no es de utilidad ya que estas salidas, serán de 5V con una corriente máxima de 20mA. Es necesaria una placa que, mediante una etapa de potencia, conmute relés electromecánicos y de estado sólido para ayudarnos en las señales de control.

De acuerdo a las referencias de los relés electromecánicos, la intensidad de activación de la bobina del relé es de 89,3 mA. Pero la máxima corriente suministrada por el arduino es de 20mA. Es por esto que es necesario realizar un circuito de potencia como el que indica la figura 41, de esta manera se consigue proteger las salidas, evitando con el diodo cualquier tipo de corrientes de retorno.

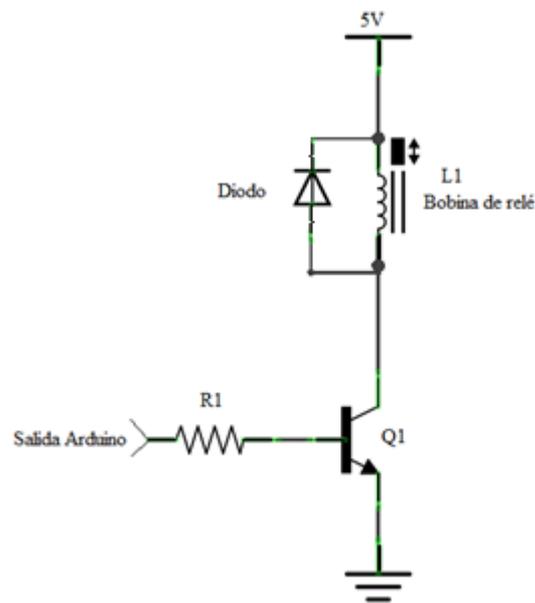


Figura 41 Circuito de potencia para salida de arduino

Fuente: (Admin, 2015)

Para el dimensionamiento de los materiales, se debe elegir inicialmente el relé el cual se requiere activar para las diferentes salidas digitales, para esto se escoge el relé SRD de activación de 5V, el cual, para este nivel de voltaje, según la hoja de datos del dispositivo, necesita una corriente de 89,3 mA para la bobina.

Como la salida del arduino genera una corriente de solo 20 mA, no es capaz de encender el relé por sí solo, es necesario un transistor que conduzca mayor corriente para la activación. Para la elección del transistor, se elegirá a partir de la ganancia necesaria y las corrientes de base y colector emisor, para esto se indica en la siguiente formula la obtención de la ganancia necesaria.

$$IC = \beta \cdot IB$$

$$\beta = \frac{IC}{IB}$$

$$\beta = \frac{89,3mA}{20mA}$$

$$\beta = 4,45$$

Se verifica que la ganancia del transistor no debe ser elevada, y no es determinante en la elección del modelo, así que para protección se escoge el transistor TIP31 NPN de Texas instruments que tiene una ganancia de 25 y las corrientes de base y de colector emisor son de 1 A, lo cual se puede decir que cumple en gran medida con las

necesidades básicas. Para la elección de la resistencia de la base R_B nos basamos en la siguiente formula, donde V_{in} es el voltaje de entrada al colector, hFe es la ganancia del transistor, e I_{ce} es la corriente colector emisor

$$R_B = \frac{(V_{in} - 0,7) * hFe}{I_{ce}}$$

$$R_B = \frac{(5 - 0,7) * 25}{0.0893}$$

$$R_B = 1,203 K \Omega$$

La resistencia de base calculada es aproximadamente de $1.2 K \Omega$, pero asumiendo que se pretende usar una ganancia de 25 para la corriente de colector, es decir para una corriente de 500 mA, lo cual no es necesario, ya que solo se necesita 90mA aproximadamente para activar la bobina del relé, así que se usara en la base una resistencia de $R_B = 1 K \Omega$ para proteger las salidas del arduino.

Cuando a través del transistor desactivamos el relé, interrumpiendo la corriente que pasa por la bobina, el campo magnético presente en ella induce en la misma, por un breve momento, una tensión muy elevada de polaridad opuesta en sus terminales. Este pico de tensión conocido como "extra tensión de apertura" puede dañar el transistor de control. Para resolver este problema, la solución más simple es la de conectar en paralelo con la bobina un diodo rectificador inversamente polarizado en modo tal que este absorba estos picos de tensión de polaridad opuesta. Puede usarse los diodos rectificadores comunes como por ejemplo el 1N4007 o 1N4004/1N4005/1N4006 ya que todos estos soportan voltajes elevados y corrientes de hasta 1A. En la tabla 12 se indica los elementos dimensionados para el circuito de potencia para las salidas de la arduino.

Tabla 12

Circuito de potencia para salida de arduino

Elemento	Descripción
Diodo de silicio	1n4007
Transistor NPN	TIP 31
Resistencia 1/4 W	1kohms
Relé	SDR G5-LE

El Programa ISIS del software Proteus Design Suite permite diseñar el plano de un circuito electrónico con componentes comerciales adecuados para la aplicación, la placa que se será considerada como el controlador principal mide 15cm x 20cm, en la figura 42 se indica una imagen 3D del diseño de la placa que será tomada como controlador y en la tabla 13 se describe cada uno de las partes importantes del mismo. El diseño general fue realizado a partir de estas consideraciones:

- La arduino MEGA 2560 será ubicada en el centro de la placa de acuerdo a las dimensiones previstas del anexo 6.
- El control de velocidad mediante el variador será realizado por control analógico, los variadores en este tipo de configuración manejar una comunicación en la cual interpretan la señal de velocidad en un rango de 0 a 10V, por esto se usa un amplificador operacional en configuración no inversor para poder duplicar el voltaje de una salida analógica del arduino.
- La selección del Set Point tanto para velocidad como temperatura será con la variación de voltaje creado por potenciómetros de 10K ubicados en el panel de control.
- La alimentación del arduino no será por medio de cable USB, sino por el pin de voltaje de entrada (Vin), el cual recepta de 5V a 9V, ya que tiene un regulador de voltaje interno para su correcto funcionamiento
- Para la comunicación con el HMI, se utilizará un módulo bluetooth HC-05, porque facilita mucho la comunicación entre las partes.
- Las entradas receptaran señales de 5V estable por la que se necesitara una fuente de corriente continua para esto.

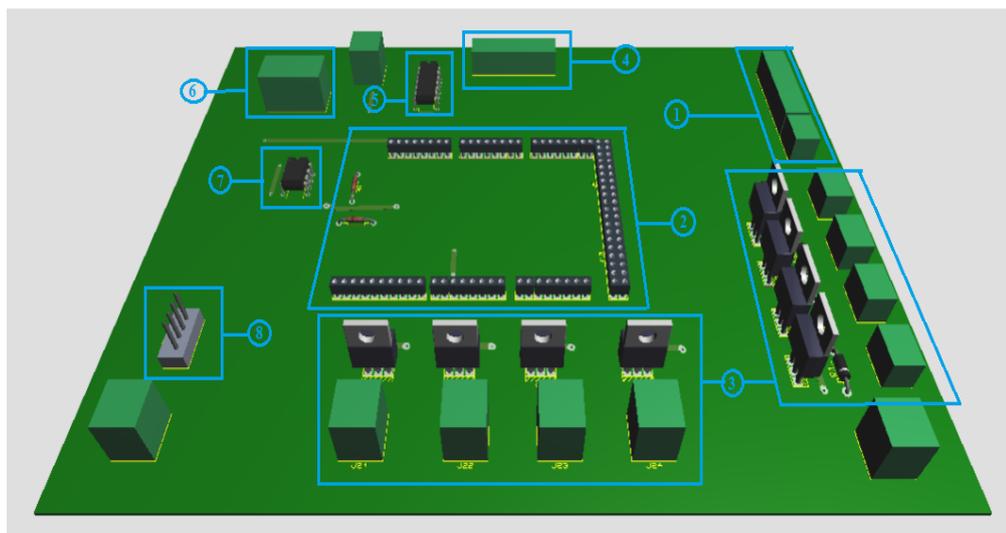


Figura 42 Imagen 3D de la placa electrónica

Tabla 13

Descripción general del controlador

Núm.	Descripción
1	Entradas Digitales
2	Ubicación del arduino Mega de acuerdo a medidas (ver anexo 6)
3	Salidas digitales con circuito de potencia
4	Entradas analógicas
5	AD595 acondicionador de señal para termocupla tipo K
6	Entrada de alimentación para arduino
7	Amplificador Operacional para señal de variador
8	Modulo bluetooth de arduino HC-05

3.2.5 HMI

Para complementar la propuesta de automatización, y cubrir la necesidad de supervisión del proceso, se contempla que el HMI sea de fácil manejo y simple navegabilidad para los operadores, considerando únicamente solo 3 ventanas, una principal, una de monitoreo y una última de control del proceso, cuando el sistema se encuentre en modo remoto. La importancia la implementación de un interfaz humano máquina, es por las siguientes funciones específicas para el proceso:

- Control remoto de funciones principales del sistema.

- Visualización de temperatura actual del pegamento e indicadores
- Supervisión de elementos activos en el proceso.
- Visualización número de libros terminados.

Además de las características antes mencionadas el HMI puede ser utilizado en dispositivos móviles mediante una conexión bluetooth, y el desarrollo de este se realizará en Android Studio, el cual se trata de un programa utilizado para el desarrollo de aplicaciones open source (software libre).

3.2.6 Características del sistema eléctrico

Los planos generales de estado inicial de la máquina se encuentran en el anexo 1, pero resumiendo, de acuerdo con la información recolectada anteriormente, se conoce que los motores están controlados por arrancadores, uno para cada motor, pero debido al factor económico en el diseño eléctrico, se contemplan la instalación de contactores como interruptores para los elementos con alimentación trifásica, los cuales serán la niquelina y el motor de cuchillas, ya que el motor principal es manejado por el variador de frecuencia. Con respecto a la niquelina, al ser una carga trifásica, se escoge una conexión de tipo estrella por las siguientes razones:

- Intensidad mayor en la línea.
- No se cuenta con una línea neutro.
- Consumo eficiente de potencia, lo cual ayuda a lograr la temperatura deseada en menor tiempo.

3.2.7 Dimensionamiento de equipos

3.2.7.1 Variador de frecuencia

Este dispositivo es seleccionado para operar sobre el motor principal de la encoladora, este elemento de control debe cubrir las características necesarias para tomar el mando. Las funciones que debe cumplir el elemento seleccionado son las siguientes:

- Arranque y variación de velocidad.
- Aceleración, desaceleración y parada del motor.

- Control mediante entrada analógica.
- Control mediante combinación de entradas digitales (velocidades preseleccionadas).

El variador que cumple las funciones requeridas y el escogido para realizar el control sobre el motor es el Micromaster Vector de la marca Siemens, el mismo que posee las siguientes características:

Tabla 14

Características del Variador

MICROMASTER VECTOR	
Características	Detalles
Temperatura de operación	0 – 50 °C
Grado de Protección	IP 20
Frecuencias de salida	0 – 650 Hz
Resolución de consigna	0.01 Hz
Entradas digitales	6 configurables
Frecuencias fijas	8
Salida de relé	2 parametrizables 240 V AC / 0.8 A 30 V DC / 2 A
Entradas Analógicas	2
Interface serie	RS 485
Control de proceso	PID
Alimentación	1 – 3 AC / 208 – 240 V +/- 10%
Tensión de salida	Igual a tensión de entrada.
Protección	Subtensión, sobretensión, sobrecarga, cortocircuito, defectos a tierra, defectos de aislamiento, sobre temperatura en el motor, sobre temperatura en el convertidor.
Intensidad de corriente de salida	3.5 A
Intensidad de corriente de salida (máx. continua)	3.9 A
Intensidad de corriente de entrada (máx.)	8.2 A
Potencia	0.75 KW / 1 Hp.

Continúa



3.2.7.2 Pistón Electromagnético

Corresponde al actuador que trabaja en la alimentación de las portadas, gobernado por el relé de estado sólido FOTEK SSR – 40 DA, utilizado para transportar la portada hacia las hojas encoladas. Corresponde una bobina de funcionamiento similar a una electroválvula, de las siguientes características:

Tabla 15

Características del Pistón

Pistón Electromagnético	
Características	Detalles
Marca	GOTEC
Voltaje de trabajo	220 V
Frecuencia	50 - 60 Hz
Potencia	45 W



3.2.7.3 Contactores

Destinado a trabajar sobre el motor de las cuchillas, este dispositivo activa o desactiva este actuador durante el ciclo de encolado de libros. Para la selección se toma en cuenta la potencia del motor, a partir de este dato se obtiene la corriente. El contactor industrial System modelo MC-18B. Sus principales características son:

Tabla 16

Características del Contactor del motor de cuchillas

Contactor System	
Características	Detalles
Número de polos	3
Corriente Asignada de empleo	12 A
Voltaje de trabajo	220 V
Tensión de alimentación de la bobina	110 V
Frecuencia	60 Hz
Corriente de consumo de la bobina	73 mA
Contactos Auxiliares	1 NC, 1 NA



Para realizar el control ON – OFF de la niquelina se utiliza un contactor de la misma marca con las siguientes características:

Tabla 17**Características del Contactor de la niquelina**

Contactor System	
Características	Detalles
Número de polos	3
Corriente Asignada de empleo	25 A
Voltaje de trabajo	220 V
Tensión de alimentación de la bobina	110 V
Frecuencia	60 Hz
Corriente de consumo de la bobina	120 mA
Contactos Auxiliares	1 NC, 1 NA

3.2.7.4 Relés de Estado Sólido

Debido al voltaje que maneja el controlador, no se pueden activar directamente los contactores, por lo que se utilizan relés de estado sólido para energizar las bobinas de cada contactor. Se necesitan 3 relés de estado sólido, para los contactores del motor de las cuchillas, niquelina y el último para el control del pistón electromagnético. Los elementos escogidos son de marca FOTEK y sus características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18**Características del relé de estado solido**

Relé de estado sólido FOTEK	
Características	Detalles
Tensión de salida	24 – 380 VAC
Corriente de salida	40 A
Voltaje de alimentación de la bobina	3- 32 VDC
Corriente de consumo	55 mA
Método de control	DC – AC
Método de montaje	Tornillos fijos

Continúa



3.2.7.5 Cable

Para el cálculo del calibre de los diferentes tipos de conductores que se utiliza, se necesitan conocer la corriente que circula, para lo cual se divide por secciones para discernir entre cada uno. El motor principal debe tener un calibre de cable diferente por la corriente que maneja, el motor maneja una corriente de 2.7 A conectado a 220 V, pero solo se trata del 80% de la corriente, la corriente para determinar el cable es de 3.24 A. Con esta corriente el calibre del cable es 16 AWG flexible en no más de 30 metros. El motor de las cuchillas consume una corriente de 9.4 A, al igual que en el caso anterior se trata solo del 80% de la corriente total, si se calcula la corriente total que consume este dispositivo se obtiene 11.28 A, con lo que el cable a utilizar es un extra flexible 14 AWG en no más de 30 metros.

La niquelina consume una corriente de 18.18 A al 80%, por lo que la corriente total consumida por este elemento es de 21.82 A, utilizando así un cable con recubrimiento especial para soportar la temperatura alta, calibre 16 con forro PTFE y fibra de vidrio. El pistón electromagnético posee una potencia de 572 vatios y se conecta a 220 voltios. A continuación, se muestra el cálculo utilizado para definir el tipo de conductor que se utiliza en el pistón:

$$I = \frac{572 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I = 2.6 \text{ A}$$

La corriente que consume el pistón es de 2.6 A, corriente que se trata del 80% de la total, obteniendo así una corriente total de 3.12 A, para lo cual se utiliza el cable 18 AWG extra flexible en no más de 30 metros. Para los sensores, indicadores y demás

instrumentos netamente de control, se utiliza un cable número 18 AWG extra flexible que soporta una corriente de 14 amperios, ya que el cableado de control no trabaja con corriente mayor a 1 A.

Tabla 19

Resumen del calibre de los conductores

Elemento	Calibre del conductor
Motor Principal	16 AWG
Motor cuchillas	14 AWG
Niquelina	16 AWG
Pistón electromagnético	18 AWG
Sensores e indicadores	18 AWG

3.2.7.6 Sensores

El sistema de encolado posee tres sensores: sensor de temperatura y dos sensores de presencia, uno para la alimentación de portadas y el utilizado como sensor de emergencia. El sensor utilizado para el subsistema de temperatura se ubica en el calentador de goma. Se requiere un rango de medición aproximado de 0 a 200 °C y respecto a su sensibilidad no se requieren exigencias bajo el orden de 1 °C, de hecho, en pruebas realizadas la temperatura puede variar hasta en 5 °C. Tomando en cuenta estas consideraciones se escoge una termocupla tipo K con las características siguientes:

Tabla 20

Características del sensor de temperatura

Termocupla Tipo K	
Características	Detalles
Blindaje externo	Acero inoxidable
Aislamiento interno	Fibra de vidrio
Longitud de cable	2 metros
Peso	30 g.
Temperatura de operación	0 – 800 °C

Continúa



Los sensores de presencia que se utilizan en la máquina encoladora presentan las características siguientes:

Tabla 21

Características del sensor de presencia

Sensor de presencia	
Características	Detalles
Marca	HIGHLY
Tipo	Mecánico
Corriente máxima	15 A
Voltaje de trabajo	5 -120 VDC / VAC
Largo de la palanca	12 cm.
Contactos	1 NC. 1 NO.



3.2.7.7 Elementos de control adicionales

El sistema incluye elementos adicionales cuya función es permitir la operación sobre el mismo por parte del usuario, utilizados para facilitar la interconexión de los componentes citados. Dentro de los dispositivos utilizados para la comunicación e interfaz con el usuario se tiene: pulsadores de marcha – paro y luces indicadores.

Para la interconexión y montaje del sistema se tiene: borneras de control, riel de sujeción, identificadores, amarras, tubería flexible de protección, entre otros. Los principales elementos nombrados se detallan a continuación:

Tabla 22

Características de botonera

Botonera	
Dos botones, marcha – paro del motor	
Especificaciones	
Marca	Rhona
Voltaje	110 / 220 VAC 5 – 110 VDC
Corriente	15 A
Frecuencia	60 Hz
Contactos	Botón negro - NO Botón rojo - NC



Tabla 23

Características de luces indicadoras

Luz Indicadora	
Luces led	
Especificaciones	
Marca	CAMSCO
Voltaje	12 - 24 VDC
Corriente	40 mA
Frecuencia	60 z

Continúa



3.2.7.8 Módulo de Alimentación

La alimentación del sistema se compone de tres tipos: el primero consiste en una toma trifásica de 220 voltios de corriente alterna, que se utiliza para la alimentación del variador de velocidad que controla el motor principal, el motor de las cuchillas y las niquelinas. El pistón electromagnético se alimenta mediante dos líneas del mismo sistema trifásico. Para la alimentación de la fuente de energía del controlador se utiliza una segunda toma de 110 voltios de corriente alterna, que se adquiere del sistema de 220 VAC junto con la línea de neutro. La toma de corriente alterna posee una frecuencia de 60 Hz. Adicionalmente se necesita para la alimentación del controlador, los elementos finales de control y luces piloto, una fuente de alimentación de 5 y 12 VDC. Esta alimentación se obtiene mediante una fuente de poder conmutada de las características siguientes:

Tabla 24

Características de la fuente de poder

Fuente de Poder		
Características	Detalles	
Marca	Q - One	
Modelo	ATX – 600W	
Tipo	Conmutada	
Input	110 VAC	8 A
	3.3 VDC	35 A
Output	5 VDC	35 A
	290 W	
	+ 12 VDC	30 A
	360W	
	- 12 VDC	0.5 A
	6 W	
	+ 5 VSB	2.5 A
12.5W		

Continúa



3.2.7.9 Caja Eléctrica

Una vez adquiridos todos los elementos del sistema de control para la máquina encoladora, se verifican sus dimensiones y sugerencias de instalación, para el caso del variador, por lo cual se seleccionó una caja eléctrica metálica de uso general con doble fondo, con las medidas siguientes: altura 60 cm, ancho 40 cm y una profundidad de 20 cm.

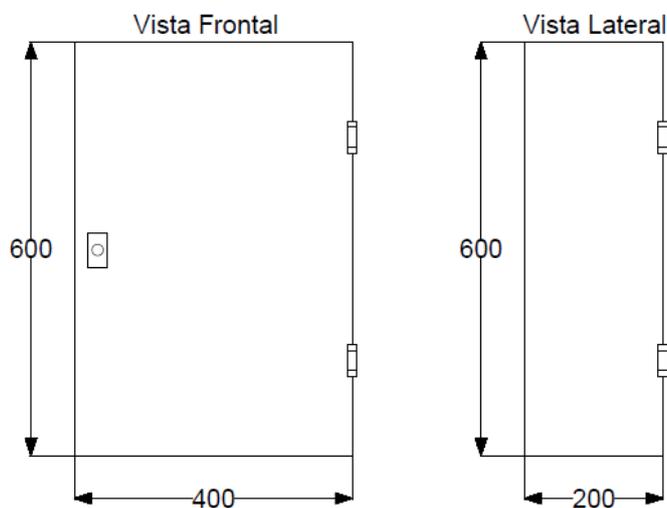


Figura 43 Vistas de la caja eléctrica

Para la disposición de los elementos se necesita evitar contratiempos al momento de realizar el cableado y ubicar los elementos de tal manera que la manipulación de los mismos sea de una forma sencilla. El riel de montaje se ubica en la parte superior del doble fondo para facilitar la conexión de los elementos de control que se ubican en

la parte superior del tablero. La distribución y el armado del tablero se muestran en la siguiente figura.

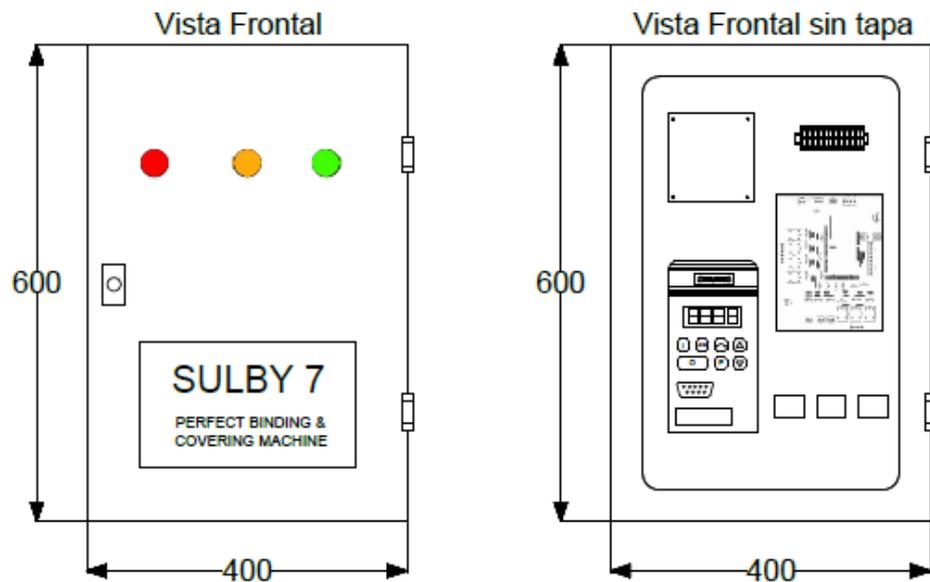


Figura 44 Caja eléctrica armada

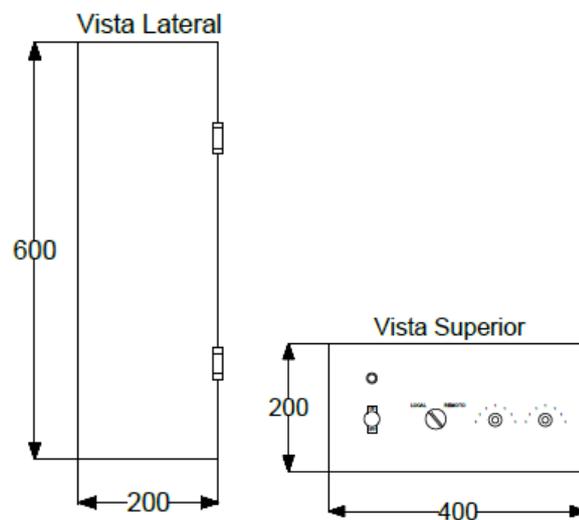


Figura 45 Vistas de la caja eléctrica armada

3.2.7.10 Elementos de protección

Los elementos para la protección del sistema, se dimensiona a partir de la corriente o la potencia total que consume la máquina, entonces en este apartado se realiza un cálculo aproximado del consumo de energía total mediante la suma de la corriente de cada circuito de potencia descritos con anterioridad. Para ello se asume una corriente

de consumo de aproximadamente 500 mA para la placa electrónica, ya que solo maneja señales de control, la siguiente tabla muestra la corriente total aproximada que maneja la máquina.

Tabla 25

Resumen de corrientes

Elemento	Corriente [A]
Controlador	0,5
Contactores	0,5
Motor Principal	2,7
Motor de Cuchillas	9,4
Niquelinas	18,2
Relés de Estado Sólido	0,165
Fuente	8
Variador de Frecuencia	8
Pistón	0,5
Total	47,965

El breaker necesario para la protección de la máquina es de 50 amperios, debido a que el breaker que ocupa actualmente de la máquina es de 63 amperios se conserva, tomando en cuenta un futuro cambio debido a su sobredimensionamiento, para evitar daños en los equipos que operan bajo su protección.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA

4.1 Diseño de la Interfaz Humano – Máquina

El interfaz humano – máquina (HMI), es el medio de comunicación entre el usuario y el proceso o máquina. El objetivo del diseño del HMI es que el operador pueda interactuar con el hardware y software de una forma sencilla. En este capítulo se detalla el diseño para la creación de la interfaz gráfica utilizada para la acción y control del proceso y de las variables que intervienen en el mismo.

4.1.1 Normativa Legal

Para el diseño de la interfaz se toma en cuenta pautas que ayuden al operador a tener un control total y sencillo del proceso. A nivel internacional no existe hasta ahora un lineamiento claro a seguir al momento del diseño de HMI. Ante la falta de estándares para el diseño del HMI se toma como referencia la guía GEDIS y normas como ISA SP-101, NTP 659 y NTP 241.

4.1.1.1 Guía GEDIS

La guía GEDIS ofrece una técnica de diseño especializada en sistemas de control y supervisión industrial, además la guía GEDIS es un complemento para desarrolladores de interfaces de supervisión mediante los sistemas comerciales denominados de adquisición de datos, control y supervisión SCADA.

La guía se encuentra estructurada bajo dos importantes aspectos. La primera detalla un conjunto de indicadores seleccionados en buena parte de las pautas de diseño de interfaces multimedia. La segunda parte muestra la obtención de medidas cuantitativas de evaluación de los indicadores para la obtención de un valor numérico final que permita al diseñador o usuario valorar las posibles mejoras de la interfaz de supervisión, a la vez que permite la comparación con otras interfaces. La GEDIS consta de 10 indicadores que proyectan mejorar aspectos del diseño de la interfaz, a continuación, se detalla cada indicador.

Arquitectura

Para iniciar con el proceso de diseño se debe establecer un mapa donde se define de manera general las diferentes pantallas con las que el operador puede interactuar con el proceso mediante el sistema de automatización y control. Este mapa debe explicar las relaciones existentes entre las pantallas, ayudando a futuro en el diseño de la navegabilidad.

Navegación

Determina como el operador navega dentro de la interfaz. El propósito de esta es que la navegación sea intuitiva y fácil de usar, para ello es recomendable usar los siguientes métodos:

- Menús y submenús
- Barra de Botones
- Barras de Iconos gráficos
- Link con hipertexto
- Link con gráficos de proceso
- Teclas de Función
- Cajas Combo o Listas Desplegables ('Combo boxes')

El objetivo de este indicador es obtener la definición formal de la navegación, sea este por barra de botones, íconos, menús, etc., así como también la distribución y función de los mismos dentro de la pantalla.

Distribución de Pantallas

El desarrollo de las plantillas que regirán el diseño de la interfaz, es un aspecto importante al momento de la interacción del operador con el sistema. Lo primero que se debe llevar a cabo es definir formalmente la tipología de las pantallas, es decir establecer cuantas clases de pantallas serán necesarias para el control y monitoreo del proceso, para luego crear una plantilla general para cada una, teniendo en cuenta que mientras menor es el número de plantillas es mejor. En estas plantillas se deben identificar los siguientes elementos:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipo de la empresa.
- Ubicación del menú del sistema, si es utilizado.

- Ubicación de las alarmas del proceso.
- Ubicación del mímico del área.
- Ubicación de funciones especiales, como confirmación de alarmas.
- En caso de existir elementos como tendencias, tablas, definir su ubicación.

Para conseguir una buena distribución de las pantallas se debe considerar directrices como: el movimiento del ojo va de arriba abajo y de izquierda a derecha, por lo que la información más importante debe ir arriba, la información miscelánea debe ir en la esquina inferior izquierda además se debe considerar que las funciones e información críticas deben ocupar un lugar fijo en la pantalla. Se debe tomar en cuenta además que los sinópticos no pueden sobrepasar el 50%, para que no se genere una aglomeración.

Uso del Color

Uno de los aspectos importantes al diseñar una interfaz humana – máquina, es el uso adecuado de colores. Su uso conservador, convencional y consistente es determinante para la concepción de una interfaz impecable. Dentro del uso del color se debe definir el color para representar el estatus de los equipos del proceso, es decir marcha, paro, falla, manual, etc. Así como también el color de los materiales y fluidos que se encuentran inmersos en el proceso (agua, aire, gases, materias primas, etc), color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc), color del texto en general, fondo de pantalla y el color de las variables del proceso.

Al escoger el color de cada uno de los elementos antes mencionados, es importante que el color entre ellos sea congruente, por ejemplo, sería una contradicción definir una alarma de color rojo y a su vez usar este color para el título de la pantalla. Las directrices al momento de escoger el color para la interfaz se basan en limitar el número de colores a cuatro para principiantes y no más de siete para un programador avanzado, tomando en cuenta que los colores sean diferenciables. El contraste en la combinación de colores debe ser alto, no se debe utilizar contrastes no compatibles como Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.

Se recomienda el uso de colores neutros para el fondo de pantalla, no se debe usar blanco ni negro debido a su alto resplandor. El color de fondo debe contrastar también con los colores de los otros elementos. Cambiar el color de fondo puede servir para diferenciar procesos o áreas de la planta.

Información Textual

El texto es uno de los medios más utilizados para presentar información del proceso o de la estación al operador, por lo que es necesario e importante establecer la regulación de las siguientes características: el uso de las fuentes, el tamaño del texto, la alineación, el espaciamiento, los acrónimos, y las abreviaturas.

Las directrices a seguir en el uso de las fuentes son las siguientes:

- No utilizar más de tres fuentes en la interfaz.
- No usar más de tres tamaños de la misma fuente. Preferible usar la fuente San Serif.
- El tamaño debe ser prudente para que el operador pueda leer a distancia.
- Procurar el uso de mayúsculas y minúsculas.
- No utilizar énfasis como subrayado, itálico, sombreado, a menos que se trate de un caso especial.
- El color del texto y el fondo de pantalla deben contrastar.
- La alineación del texto en la pantalla será las etiquetas a la izquierda y números a la derecha.
- El punto decimal siempre debe ir alineado.

Para las abreviaturas se puede tomar como lineamiento las normas ISA S5.1 - S5.3, las cuales son utilizados en diagramas P&ID, facilitando el entendimiento al operador al momento de búsqueda y control de un instrumento o variable del proceso.

Estatus de los Equipos y Eventos de Proceso

Definir los gráficos, símbolos e iconos que representen el estado de equipos como ventiladores, bombas, bandas, válvulas, filtros, etc., tratándose de eventos digitales, es importante dentro del HMI. Utilizar simbología homogénea, entendible, de fácil reconocimiento es fundamental para facilitar el manejo del HMI por parte del operador.

Los símbolos e iconos que representan eventos dentro del proceso deben ser de un tamaño prudente, evitando que estos tengan detalles y realismos innecesarios. La utilización de figuras geométricas para representar símbolos o iconos asegura una mayor comprensión del operador, preferentemente enmarcar las figuras y se puede reforzar el estado del equipo mediante un texto también.

Información y Valores de Proceso

La visualización de los datos analógicos es una manera importante para que el operador conozca el estado de la planta. Estos valores se representan en las pantallas dentro de los gráficos o mímicos del proceso, o en tablas. El objetivo de tener acceso a estos datos es mantener al operador informado de una manera eficaz y ordenada para conocer el estado actual de la máquina respecto al proceso. Existen datos que informan por si solos y existen datos que solo informan cuando se encuentran acompañados con otros.

Sobrecargar de datos innecesarios en los mímicos del proceso es uno de los problemas que se debe evitar al momento de diseñar, por esa razón es necesario clasificar los valores. A continuación, se propone la siguiente clasificación:

- Datos de conducción en un área de la planta.
- Datos asociados a la seguridad de la planta.
- Datos referentes a alarmas de proceso causantes de paros de producción.
- Datos concernientes a las alarmas de proceso que no provocan paros en la producción.
- Datos de alarmas de dispositivos.
- Datos estadísticos del área.
- Datos estadísticos individuales de equipos.

Datos relacionados directamente al proceso o a alarmas que causan paro de la producción deben ser ubicadas cerca a los respectivos equipos o en zonas que sugieren su instalación física en la planta, pero no en el área inferior izquierda de la pantalla. Los datos restantes se deben ubicar en pantallas de detalle y estos pueden provocar un cambio en las máquinas de la pantalla principal. Estos datos no deben mostrarse permanentemente para que la pantalla no se sobrecargue de información.

Gráficos de Tendencias y Tablas

Los principales esquemas utilizados para agrupar información y presentar al operador son los gráficos de tendencias y las tablas. Para la selección de datos que se van a representar en gráficos de tendencias y tablas es recomendable partir de datos mencionados en el apartado anterior, escoger los necesarios y agruparlos, sin alterar, ni duplicar la información presentada en las pantallas con sinópticos del proceso.

A continuación, se presenta las directrices que se deben tomar en cuenta al momento de especificar un gráfico de tendencia:

- En una sola gráfica no presentar más de 9 datos.
- Los datos deben diferenciarse por color y tipo de línea.
- Escoger rangos adecuados del gráfico.
- Mostrar máximo y mínimo para cada dato.
- Usar una rejilla de bajo tono para facilitar la lectura.
- Los datos pueden ser leídos por el operador en tiempo real.
- Los ejes y puntos importantes de la gráfica deben estar bien etiquetados.
- El operador puede ocultar de manera temporal algunas variables.

Para las tablas la guía propone las siguientes directrices:

- Utilizar el color de fondo diferente al color de la pantalla.
- La titulación de la tabla debe ser clara.
- El orden de las filas y columnas puede seguir los siguientes criterios: importancia, frecuencia de uso, función, tipo, tiempo o alfabéticamente.
- Si la tabla es demasiado extensa, es recomendable dedicarle una pantalla de detalle en lugar de ubicarla cerca de un sinóptico.

En resumen, en esta etapa se debe conseguir la agrupación de los datos para los gráficos de tendencias y la definición de las tablas de datos que el operador podrá acceder.

Comandos e Ingreso de Datos

Esta parte del diseño del HMI establece la intervención directa del operador al momento de proveer datos al sistema. El operador por lo general ejecuta comandos, selecciona opciones, ingresa datos de consigna, reconocimientos de alarmas y otros parámetros necesarios para el proceso. Dichos comandos deben ser fáciles de operar y estar ubicados en lugares con alta visibilidad para el operador, para cumplir con esto es indispensable que el área de acción en pantalla tenga buen tamaño, perfectamente etiquetada y por ello reconocible fácilmente por el usuario. Si el área de acción no es lo suficientemente grande el usuario puede encontrarse con problemas como pulsar fuera del área de acción.

Los comandos e ingresos de datos pueden ser ubicados en pantallas específicas o junto a los sinópticos o una mezcla entre ambos conceptos. Se recomienda ubicar los comandos e ingresos de datos en los sinópticos cuando son críticos para la operación del sistema o se utiliza con frecuencia, de tal manera que el usuario no se vea en la necesidad de cambiar de pantalla al momento de ejecutar cada uno de los comandos, tomando en cuenta siempre que no se debe sobrecargar de información la pantalla.

Alarmas

Las alarmas constituyen uno de los elementos principales de información del estado de la máquina o del proceso como tal. Las alarmas dentro del HMI juegan un papel importante ya que alertan al operador sobre situaciones anómalas que se presentan en el proceso y necesitan una intervención por parte de él. Las alarmas se las puede clasificar de la siguiente manera:

- **Críticas:** Las cuales pueden producir un paro de producción y amenazar la seguridad de la planta.
- **Advertencias:** Son alarmas que transcurrido un tiempo con el evento que originó la alarma se pueden convertir en situaciones críticas.
- **Mensaje:** Se trata de eventos informativos para el operador, estos eventos no representan amenazas para la producción o seguridad de la planta.

Para definir las alarmas generalmente se observan las siguientes directrices:

- Los mensajes y las alarmas deben seguir los lineamientos que lleva el proyecto como: fuente, texto, color, tamaño y espaciamiento.
- Se debe evitar alarmas y mensajes redundantes al operador.
- El operador para reconocer una alarma, debe validar mediante algún tipo de evento (Ack).
- El color de alarmas se puede complementar con otros eventos como íconos, la visibilidad de un aviso de texto, o un sonido.

4.1.1.2 NPT 659: Carga mental de trabajo

Diseño de tareas

Dentro de las guías de buenas prácticas, se tiene la guía NPT 659 la que trata sobre las cargas mentales del trabajo. Esta guía trata las exigencias del tratamiento de información necesaria para realizar, las cuales se rigen en principios como claridad y exactitud (proporcionar la información necesaria en un tiempo prudente). La información que maneja el operador al momento de realizar una tarea debe ser necesaria y suficiente, evitando sobrecargar información innecesaria o a su vez falta de información.

La información no es la solución a los problemas, pero es fundamental asegurar que llegue al operador de una manera clara y de fácil interpretación para el operador. El uso de códigos codificados aumenta el flujo de información, pero crea la necesidad que el operador tenga conocimientos exactos sobre los códigos utilizados, para evitar una carga de trabajo mental, caso contrario la complejidad de la información aumenta significativamente.

Conforme avanza la tecnificación y automatización en procesos, aumenta su grado de complejidad, sofisticado en su lógica de funcionamiento. Dentro de pantallas de visualización de datos (PVD) se aplican conocimientos de ergonomía para conseguir los siguientes objetivos:

- Facilitar la realización de la tarea.
- Cuidar la salud y la seguridad del operador, así como asegurar y promover su bienestar.
- Desarrollar habilidades y capacidades individuales con respecto a tareas ejecutadas.

La organización de la información es un factor determinante para el diseño de un HMI, la información debe situarse según las expectativas del operador, para minimizar tiempos de búsqueda.

4.1.1.3 NPT 241 - Mandos y señales

Ergonomía de percepción

Esta guía detalla aspectos esenciales que deben regir para efectuar un análisis sistemático del proceso informativo que se presenta en la estación de trabajo. El modelo más simple es el formado por un individuo y una máquina. En esta

combinación la máquina aporta información al individuo sobre el proceso que está realizando y éste, a su vez, efectúa acciones sobre la máquina como respuesta a esas informaciones.

Análisis del proceso información – respuesta

Información se entiende como la energía emitida por fuentes externas que el ser humano puede percibir a través de los sentidos. La información se percibe básicamente siguiendo un orden de importancia, de la vista, oído, tacto, olfato y gusto. Para que dicha información tenga una respuesta se necesita alcanzar un nivel mínimo, denominado “umbral inferior”. La percepción de las sensaciones cambia en función de varios factores, la percepción de sonidos, objetos, etc, depende del contexto en el que se propaga.

4.1.2 Diseño del HMI en Android Studio

El software utilizado para el desarrollo del HMI es Android Studio, que es un entorno de desarrollo para la plataforma Android basado en lenguaje JAVA, que reemplazo a Eclipse. Debido a que la plataforma de Android está basada en Linux, se puede gestionar sus recursos, ya que estos se encuentran por encima de la capa del kernel, teniendo acceso a recursos como pantalla, cámara, comunicación bluetooth entre otros, mediante Android Studio. Gracias a esta característica la adquisición de datos mediante: GSM/EDGE, IDEN, CDMA, EV-DO, UMTS, Bluetooth, WiFi y Wimax puede ser posible.

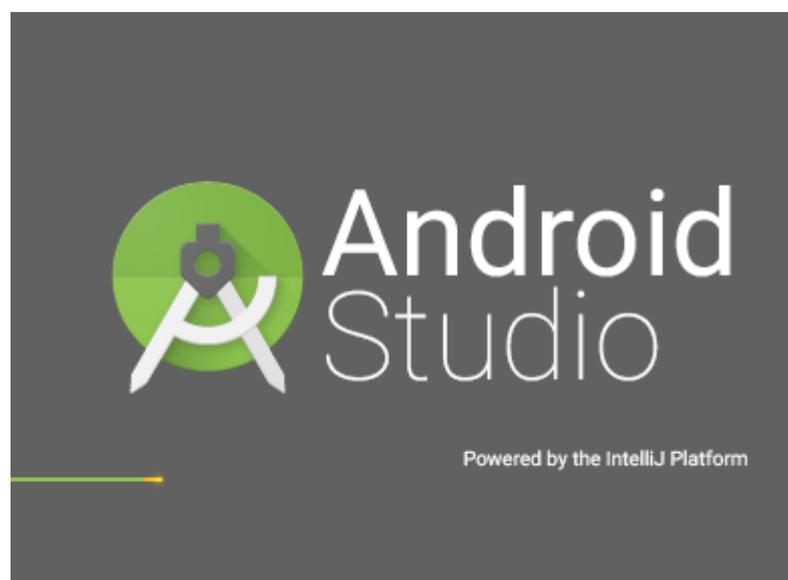


Figura 46 Pantalla de inicio de Android Studio

Fuente: (González Von Schmeling, 2016)

Android Studio presenta como principales características lo siguiente:

- Genera imágenes a partir de un modelo (renderizado) en tiempo real.
- La construcción de la aplicación se basa en Gradle.
- Refactorización específica de Android y arreglos rápidos.
- Herramientas para detección de problemas de rendimiento, de compatibilidad entre otros.
- Soporte para crear aplicaciones para Android Wear.

Al crear un proyecto en Android Studio, la interfaz de la aplicación (layouts) se la puede diseñar textualmente o gráficamente, además permite la previsualización y elección entre distintas configuraciones, temas, dispositivos, etc. Al momento de programar en código JAVA se posee una clase R que permite la comunicación directa con los elementos contenidos en los layouts.

Para el diseño de cada una de las pantallas en Android Studio se tomó en cuentas aspectos especificados en los apartados anteriores. Es decir, con las guías anteriores se logró definir temas como: arquitectura, navegabilidad, uso de colores, características de la información textual, estados de los equipos, entre otros.

Arquitectura y Navegabilidad

Debido a las necesidades de la máquina encoladora y el pedido del usuario, la arquitectura de la interface se trató de simplificar al máximo para que el operador no tenga ningún tipo de inconvenientes al manipular la máquina en modo remoto o visualizar el estado de los equipos en modo local, por lo que la arquitectura quedó planteada de la siguiente manera:

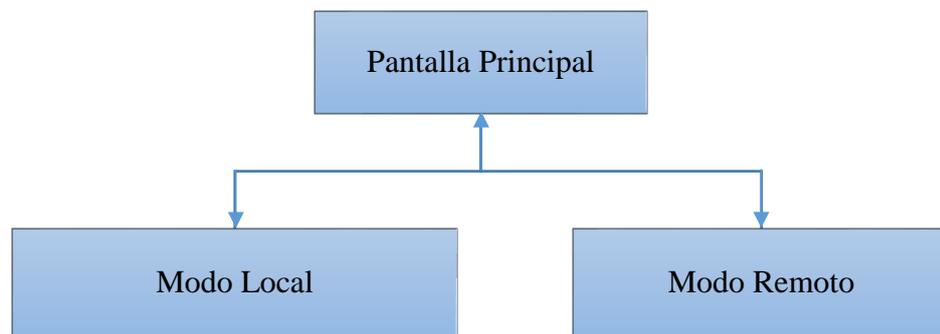


Figura 47 Navegabilidad

Como se puede observar la navegabilidad de la interfaz es simple, desde la pantalla principal se puede acceder a las pantallas en modo local o modo remoto, mas no se puede acceder al modo local desde el modo remoto y viceversa, esta característica de la interfaz se presenta ya que desde el dispositivo Android no se puede cambiar el modo de funcionamiento de la máquina, es decir el selector de modo solo se encuentra en el panel de operador.

Uso del color

Los colores utilizados en la interfaz se escogen en base a la guía guedis, estos se definen también según la paleta colores de Android Studio, donde se pueden precisar colores según la necesidad. Los colores se pueden escoger mediante tres herramientas:

- Método gráfico: el usuario arrastra el mouse mediante a paleta de colores hasta esta encontrar el color a utilizar.
- Mediante el código hexadecimal: el usuario ingresa el código hexadecimal de la combinación ARGB, RGB o HSB.
- Ingreso de parámetros: el diseñador ingresa los parámetros según el modelo de combinación de colores escogido, en este caso ARGB.

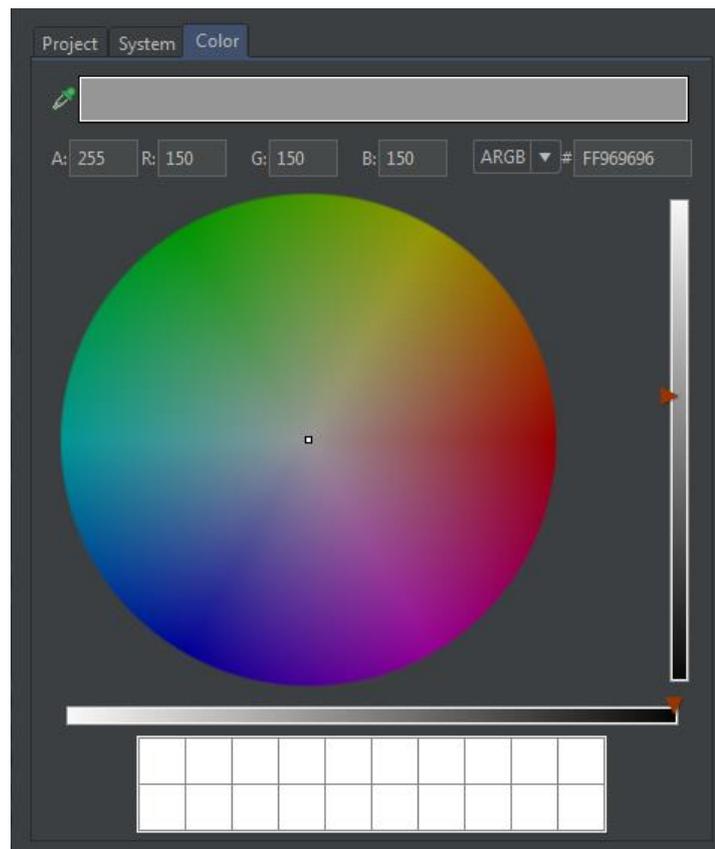


Figura 48 Paleta de selección de colores en Android Studio

Cabe recalcar que el método ARGB es similar al popular método RGB, con la simple variación que incorpora un parámetro más, la sigla A (alfa). El canal alfa se utiliza para definir la opacidad del color, obteniendo con el valor de 0 el color menos opaco, es decir transparente (totalmente invisible) y 255 el color más opaco (imágenes digitales tradicionales). A continuación, se muestra una tabla con los colores con el código ARG de cada uno de ellos y su aplicación.

Tabla 26

Resumen de los colores utilizados en HMI

Aplicación	Código ARGB			
	A	R	G	B
Fondo de pantalla	255	118	118	118
Fondo de títulos	255	37	37	37
Fondo de panel de control y visualización	255	150	150	150
Títulos	255	255	255	255
Texto en general	255	1	1	1

Información Textual

Para la información textual Android Studio maneja plantillas o estilos, debido a que este parámetro manipula directamente según el tipo de letra que tenga por defecto el dispositivo Android, el tamaño del texto en cambio es un parámetro configurable y accesible al programador. Características como alineación, parámetros de la fuente entre otros son configurados con el estilo que se escoja, pero también se pueden configurar desde las propiedades del texto. Las características que presenta la información textual son las siguientes:

Tabla 27

Resumen del tamaño de texto

	Fuente	Tamaño	Estilo
Título Principal	Predefinido por dispositivo	22 dp	Normal
Título de control de proceso	Predefinido por dispositivo	22 dp	Normal
Indicadores Numéricos	Predefinido por dispositivo	21 dp	Normal
Texto General	Predefinido por dispositivo	20 dp	Normal

Estado de los Equipos

En este apartado se define el gráfico o símbolo que representan el estado actual de la máquina o equipo que intervienen en el proceso. El estado de la máquina puede ser presentado de una forma analógica o mediante cambios digitales (on - off), que representarán un evento específico.

A continuación, se presenta una tabla de la simbología utilizada para representar el estado del motor principal, niquelina, motor de las cuchillas, modo de operación.

Tabla 28

Estado de dispositivos

Acción	Símbolo	Color de relleno
Encendido		Verde
Apagado		Rojo

La velocidad del motor principal, así como la temperatura actual del sistema se presentan de forma textual, características que se detallaron en el apartado anterior, información textual.

4.1.3 Transmisión de la Información

La transmisión de la información en Android Studio mediante bluetooth, se realiza mediante el protocolo RFCOMM. Para la transmisión de la información la aplicación Android, la información se envía mediante un paquete de datos, el cual consta de un código de acceso, cabecera, banda guarda, secuencia de sincronización, EDR Payload o información y el tráiler. El EDR Payload se trata de la información enviada o recibida de un dispositivo bluetooth a otro, este es el único parámetro modificable, ya que los demás se modifican de una manera transparente mediante los métodos, API's y demás prestaciones que brinda Android Studio. Para la interpretación de los datos, la información se ordena mediante dos tramas, una utilizada para la recepción y otra para el envío.

Trama de envío

Para la interpretación de los datos seriales se insertó un carácter para identificar el inicio y el fin de la trama, además de 5 datos de diferentes tipos, organizados de la siguiente forma:

Tabla 29

Trama de envío de información

Inicio trama	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Fin trama
--------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------

El dato 1 representa el valor de referencia para la temperatura, es un número entero de tres dígitos. El dato 2 es un entero de tres dígitos, el cual representa el valor de referencia de la velocidad. Los bits para la activación del motor principal, control de la niquelina, el control para encerrar el contador de libros y el paro de emergencia son los últimos cuatro datos que se envían en la trama de información. Para el inicio de la trama se utiliza el “#” y como carácter de finalización se utiliza el “+”.

Trama de recepción

La información recibida posee características similares a la trama de envío, con la diferencia del número de datos. La trama de recepción se organiza de la siguiente manera:

Tabla 30

Trama de recepción de información

Inicio trama	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Dato 7	Dato 8	Fin trama
--------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------

Los caracteres de inicio y de fin de la trama son utilizados los mismos tanto para la trama de envío y recepción. Cuatro números enteros de tres dígitos cada uno, son los valores de la referencia de temperatura, la referencia de velocidad, el valor actual de la temperatura y el número total de libros, que vienen representados por los datos 1,2,3 y 7 respectivamente. Los bits de monitoreo del estado del motor principal, de la niquelina, del motor de las cuchillas, modo de funcionamiento (remoto - local) y paro de emergencia se representan en los datos 4,5, 6 y 8 respectivamente.

4.1.3.1 Comunicación Bluetooth en Android Studio

La plataforma de Android Studio incluye librerías para el control del Bluetooth, las cuales permiten el intercambio de datos de una forma inalámbrica con otros dispositivos que soporten tecnología bluetooth. Este marco de funciones provee un acceso total a las funcionalidades del Bluetooth a través de la interfaz de programación de aplicación (API) de Android Bluetooth. Estas APIs permiten conexiones punto a punto o multipunto con otros dispositivos, según se requiera.

Las APIs bluetooth pueden realizar funciones como las que se describen a continuación:

- Búsqueda dispositivos cercanos.
- Consulta dispositivos emparejados con el adaptador bluetooth.
- Establece canales RFCOMM.
- Conexión con otros dispositivos mediante detección de servicios.

- Transferencia de datos desde y hacia otros dispositivos.
- Administrar múltiples comunicaciones.

Clases e Interfaces Básicas

Las APIs usadas para las cuatro principales tareas necesarias para una comunicación bluetooth están disponibles en el paquete android.bluetooth. He aquí un análisis detallado de las clases e interfaces necesarias para generar una conexión bluetooth:

BluetoothAdapter

Simboliza el adaptador bluetooth local, utilizado para descubrir otros dispositivos, consultar los dispositivos emparejados, instanciar un dispositivo bluetooth (BluetoothDevice) conociendo su dirección MAC y crear un socket de comunicación (BluetoothServerSocket) para establecer una comunicación con otro dispositivo. Esta interface maneja variables, métodos anidados, métodos públicos y métodos heredados, a continuación, se enlistan algunos utilizados en el presente proyecto:

Tabla 31

Métodos públicos de BluetoothAdapter

Métodos Públicos		
Nombre	Descripción	Dato de retorno
getDefaultAdapter()	Obtiene las características del adaptador bluetooth local.	static BluetoothAdapter
getRemoteDevice(address)	Obtiene un objeto BluetoothDevice mediante la dirección física del dispositivo	BluetoothDevice
isEnabled()	Retorna verdadero si el dispositivo está funcionando y listo para usarse.	Boolean

Tabla 32

Constantes de BluetoothAdapter

Constantes		
Nombre	Descripción	Tipo
ACTION_REQUEST_ENABLE	Muestra una actividad del sistema mediante la cual el usuario puede activar el bluetooth.	String
ACTION_DISCOVERY_STARTED	El dispositivo bluetooth inicia una búsqueda de dispositivos remotos.	String
ACTION_DISCOVERY_FINISHED	El dispositivo bluetooth finaliza la búsqueda de dispositivos remotos.	String

BluetoothDevice

Representa un dispositivo bluetooth remoto. Esta interfaz se utiliza para solicitar una conexión mediante BluetoothSocket o a su vez consultar información sobre el dispositivo como su nombre, dirección, clase y el estado del enlace. Para obtener este tipo de información se usan métodos y variables propias en esta interfaz, algunos de estos métodos y variables se citan a continuación:

Tabla 33

Métodos Públicos de BluetoothDevice

Métodos Públicos		
Nombre	Descripción	Dato de retorno
createRfcommSocketToServiceRecord (UUID uuid)	Crea un socket RFCOMM para iniciar una conexión mediante operaciones de búsqueda del SDP UUID.	BluetoothSocket

Continúa

getAdress()	Proporciona la dirección del hardware del dispositivo bluetooth	String
getBluetoothClass()	Obtiene la clase bluetooth del dispositivo remoto.	BluetoothClass
getType()	Arroja información sobre el tipo de dispositivo bluetooth del dispositivo remoto.	int

Tabla 34
Constantes de BluetoothDevice

Constantes		
Nombre	Descripción	Tipo
ACTION_ACL_CONNECTED	Acción de transmisión: Indica una conexión de nivel bajo establecida con un dispositivo.	String
ACTION_FOUND	Acción de transmisión: Dispositivo remoto encontrado o descubierto.	String

BluetoothSocket

Representa la interfaz de un socket bluetooth posee características similares a los sockets utilizados en una comunicación TCP. Este unto de comunicación permite el intercambio de información entre dispositivos bluetooth, para este flujo de información se utiliza métodos del paquete java.io, InputStream y OutputStream, usados para la lectura y escritura de una trama de bytes.

Tabla 35

Método Público de BluetoothSocket

Métodos Públicos		
Nombre	Descripción	Dato de retorno
close()	Cierra la comunicación entre dispositivos y libera recursos.	void
connect()	Método mediante el cual se intenta establecer una conexión a un dispositivo remoto.	Void

Tabla 36

Constantes de BluetoothSocket

Constantes		
Nombre	Descripción	Tipo
TYPE_L2CAP	Socket L2CAP	int
TYPE_RFCOMM	Socket RFCOMM	int
TYPE_SCO	Socket SCO	int

La comunicación bluetooth maneja otras interfaces las cuales cumplen el mismo propósito de las anteriormente descritas, todas las API de bluetooth se encuentran disponibles en el paquete android.bluetooth, a continuación se enlistan algunos otros APIs de uso frecuente:

- BluetoothServerSocket
- BluetoothClass
- BluetoothProfile
- BluetoothHeadset
- BluetoothA2dp
- BluetoothHealth
- BluetoothHealthCallback
- BluetoothHealthAppConfiguration
- BluetoothProfile.ServiceListener

4.2 Descripción del Funcionamiento

4.2.1 Ventanas

La interfaz gráfica desarrollada para el control de la máquina encoladora se compone de tres ventanas: ventana principal, ventana modo local y ventana modo remoto, cada una posee elementos gráficos utilizados para el control y monitoreo del sistema, mediante estos elementos se puede acceder a las principales variables que intervienen en el proceso.

4.2.1.1 Ventana Principal

Se trata principalmente de una ventana de bienvenida, se compone de dos botones de navegabilidad, que permiten ingresar a la pantalla de modo remoto o modo local, además al tratarse de una pantalla de inicio esta posee el logo de la empresa y un fondo de pantalla diferente. A continuación, se presenta la pantalla principal:



Figura 49 Pantalla de bienvenida del HMI

4.2.1.2 Ventana Modo Local

En esta pantalla el operador únicamente visualiza parámetros que intervienen en el proceso, más no puede actuar sobre los mismos, el objetivo de esta pantalla es de carácter informativo. La información presentada con relación al sistema de encolado, es el valor de la temperatura actual, estados de los motores, niquelinas y consigna de operación (set point) de temperatura y velocidad.

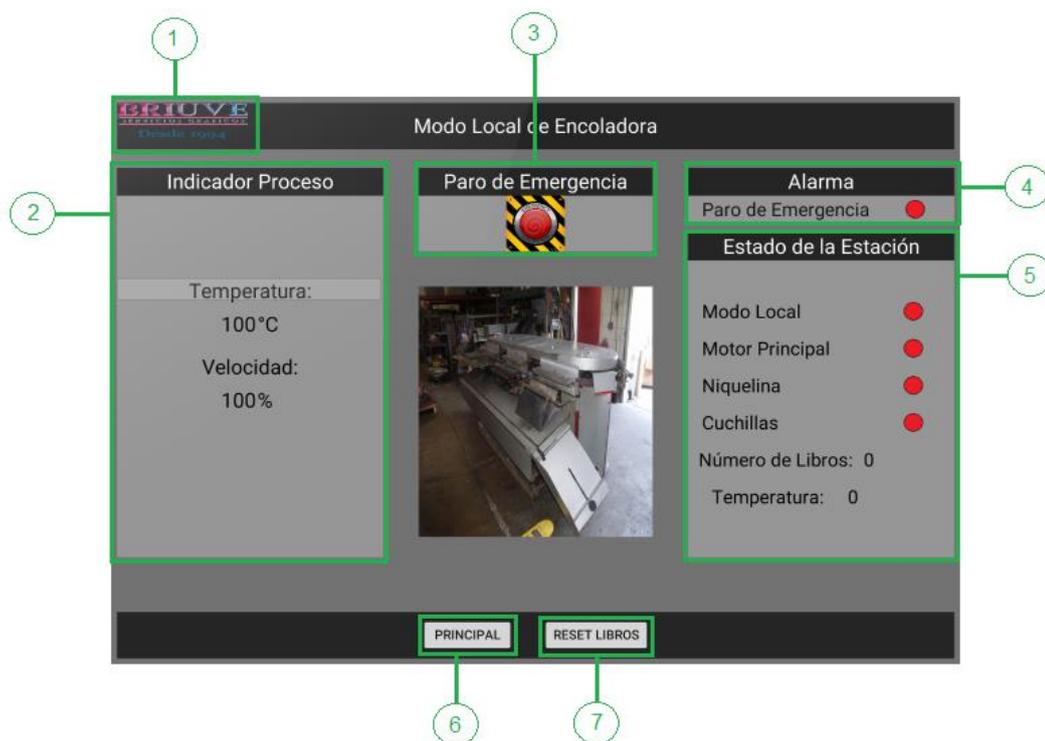


Figura 50 Ventana de modo Local

Tabla 37

Elementos de la ventana Local

Ítem	Descripción
1	Logotipo de la empresa
2	Indicadores del proceso
3	Paro de emergencia
4	Alarma
5	Estado de la máquina
6	Botón de navegación
7	Botón encerrar contador de libros

A continuación, se muestran los indicadores y botones que puede accionar el operador desde la ventana de Modo Local.

Tabla 38**Ventana de modo Local**

Indicadores del proceso	
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;"> Temperatura: 100°C </div>	Indica la temperatura a la que trabajará la máquina, este valor se fija desde el tablero local.
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;"> Velocidad: 100% </div>	Indica la velocidad del motor principal fijada, se puede visualizar en revoluciones por minuto y en porcentaje, siendo 1750 rpm el 100%.

Tabla 39**Indicadores del estado de la estación**

Indicadores del Estado de la Estación	
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Modo Local ● </div>	Indica que el modo local está activado
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Motor Principal ● </div>	Muestra el estado del motor principal.
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Niquelina ● </div>	El estado de la niquelina se muestra en este indicador.
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Cuchillas ● </div>	Indica el estado del motor de las cuchillas.
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;"> Número de Libros: 0 </div>	Indica el número de libros que han sido encolados, se representa mediante 3 dígitos.
<div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Temperatura: 0 </div>	Indica la temperatura actual de la cola en 3 dígitos.

En todos los indicadores el led en rojo representa apagado y el led en verde representa encendido. De la tabla 37 el ítem 3 representa el paro de emergencia el cual en caso de ser activado se reconoce la alarma mediante el botón start del motor principal ubicado en el panel de mando local. El ítem 4 muestra una alarma de emergencia en la máquina.

Tabla 40

Botones de Navegación

Botón de navegación	
	Mediante este botón se puede regresar a la pantalla de principal.

Tabla 41

Reseteo de contador de libros

Botón encerrar contador de libros	
	Este botón pone a cero el contador de libros encolados.

4.2.1.3 Ventana modo Remoto

En este modo la máquina trabaja con las instrucciones recibidas desde la tablet. En esta pantalla se puede visualizar los datos de velocidades y temperatura actuales, así como también el estado de la máquina encoladora, además el operador puede configurar la velocidad y temperatura del encolado, encender y apagar el motor principal y el motor de las cuchillas.



Figura 51 Ventana de modo remoto

Tabla 42**Reseteo de contador de libros**

Ítem	Descripción
1	Logotipo de la empresa
2	Control del proceso
3	Paro de emergencia
4	Alarma
5	Estado de la estación
6	Botón de navegación
7	Botón encerrar contador de libros

A continuación, se muestran los indicadores y controles a los que tiene acceso el operador desde la ventana de Modo Remoto.

Tabla 43**Control del Proceso**

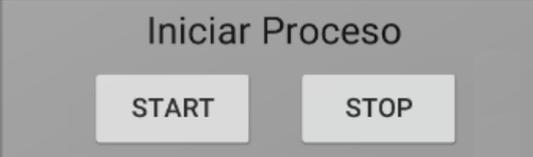
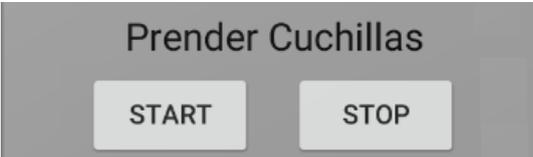
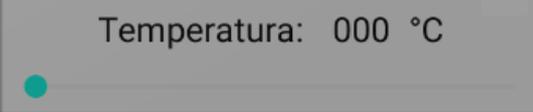
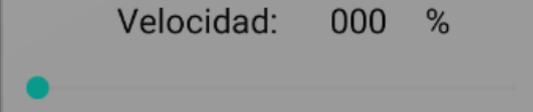
Control del Proceso	
	<p>Permite prender y apagar el motor principal, mediante los botones start y stop. En caso de presentarse un paro de emergencia con el botón start se reconoce el mismo. El motor sólo se podrá prender cuando se haya alcanzado la temperatura indicada.</p>
	<p>Acciona el motor de las cuchillas mediante el botón start y lo apaga mediante el botón stop.</p>
	<p>Temperatura a la cual la goma para el encolado permanecerá.</p>
	<p>Control de velocidad del motor principal expresado en porcentaje.</p>

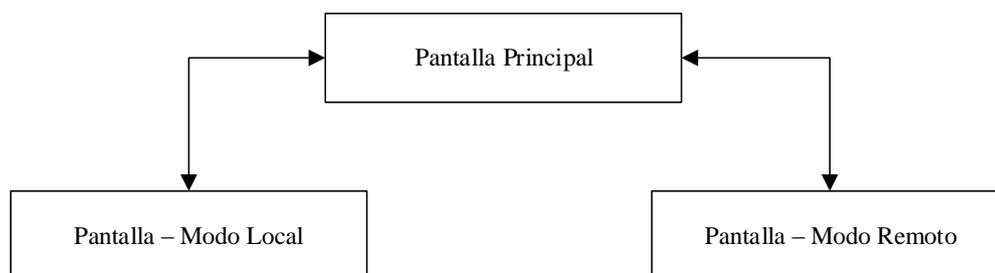
Tabla 44**Estado de la estación**

Estado de la Estación	
Modo Remoto 	Indica que el modo remoto está activado
Motor Principal 	Muestra el estado del motor principal.
Niquelina 	El estado de la niquelina se muestra en este indicador.
Cuchillas 	Indica el estado del motor de las cuchillas.
Número de Libros: 0	Indica el número de libros que han sido encolados.
Temperatura actual: 000 °C	Indica la temperatura actual de la cola.
Velocidad actual: 000 %	Indica la velocidad seteada en el motor principal en revoluciones por minuto.

Los ítems 3, 4, 6 y 7 cumplen la misma función en el modo local y en el modo remoto.

4.2.2 Navegabilidad

La navegación entre pantallas de la interfaz es sencilla e intuitiva, el operador puede dirigirse desde la pantalla principal a las pantallas Modo Local y Modo remoto, pero no existe una conexión directa entre la pantalla modo local y modo remoto, ya que el selector de modo es físico y se encuentra situado en el tablero de control. A continuación, se muestra un diagrama de la navegación.

**Figura 52 Navegabilidad del HMI**

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1 Implementación de solución inicial

Una vez diseñado el sistema de control, este capítulo tiene como propósito dar a conocer la planificación del proceso de integración de todos los componentes y equipos, así como el dimensionamiento de los mismos. Se detallará cada uno de los aspectos que fueron tomados en cuenta para la construcción del tablero de control y las pruebas a las que se somete el sistema para verificar el comportamiento de software y hardware. Finalmente se describe el proceso de calibración en el variador de frecuencia, debido a que este elemento posee funciones y varias opciones de configuración.

5.2 Instalación del sistema de control

En la sección de instalación se detallará como se encuentran distribuidos los equipos seleccionados en los apartados anteriores, así como la descripción de sus partes.

5.2.1 Caja eléctrica

La caja eléctrica está ubicada a un costado de la máquina para que sea accesible al cable de alimentación trifásica del local. En la parte superior se encuentra parte de los mandos de control, en su parte frontal están los indicadores y el logo de la máquina, “SULBY 7”.



Figura 53 Vista frontal de la caja eléctrica de control

En la figura 54 se muestra el interior de la caja eléctrica donde se ubican el módulo de alimentación de voltaje continuo, borneras para distribución de energía a sensores y botoneras, el controlador principal, el variador de frecuencia y los relés de estado sólido, todos estos numerados respectivamente como fueron mencionados. A continuación, se enumeran cada uno de los dispositivos de la figura 54:

1. Módulo de alimentación
2. Borneras
3. Variador de Frecuencia
4. Placa electrónica del controlador
5. Relés de estado sólido

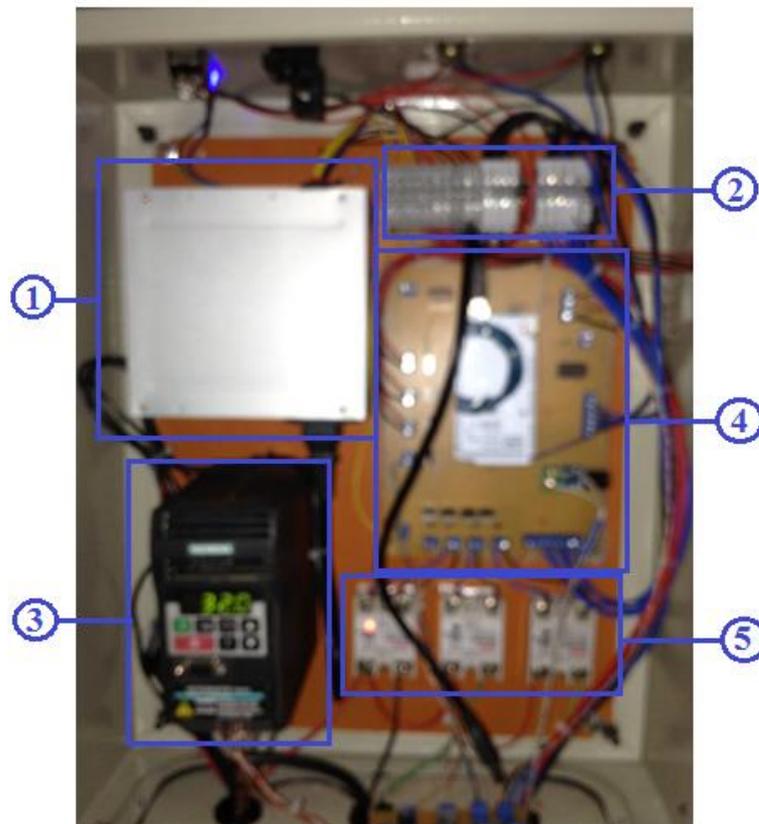


Figura 54 Interior de la caja eléctrica

5.2.1.1 Variador de frecuencia

En la instalación del variador de frecuencia deben cumplirse ciertas condiciones de trabajo, tomadas del manual SIEMENS para equipos de la gama Micromaster, para que su funcionamiento sea el óptimo. Estas condiciones vienen especificadas para temperatura, altitud, impactos, vibraciones, etc. El lugar de trabajo puede considerarse dentro de rango para todas las condiciones que el manual prevé para el dispositivo, por lo que únicamente, en este apartado se mostrará ubicación de un variador Micromaster y los parámetros mínimos configurables para el mismo.

En la figura 55 se indica cuáles son las distancias mínimas de separación que debe cumplir el variador con otros dispositivos cercanos, o en su defecto, las dimensiones mínimas que debe tener una caja eléctrica para poder albergar el mismo. La figura muestra que el equipo debe estar conectado a tierra, así como el tablero que lo contiene, pero el manual recomienda que, si no se tiene una tierra, se puede hacer tierra en el chasis de la máquina para lograr un funcionamiento continuo.

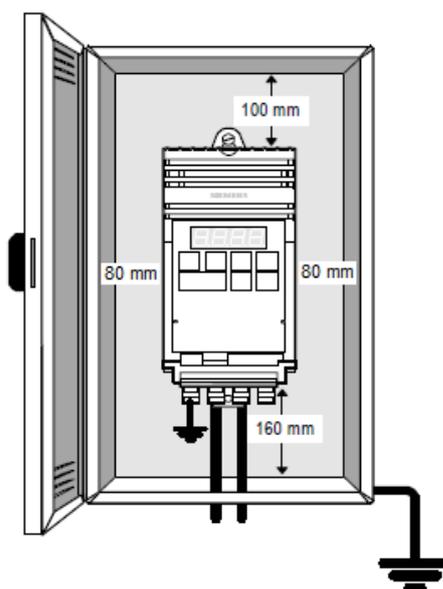


Figura 55 Medidas de instalación del Variador de Frecuencia

Fuente: (SIEMENS, 1998)

En la tabla 45 se muestra los parámetros de configuración específicas para el motor, de esta manera harán que el variador trabaje de manera eficiente de acuerdo a valores nominales de corriente voltaje y potencia descritos en la placa. Esta es la configuración inicial para el dispositivo, sin esto no podrá trabajar el motor. Anteriormente se escogió el control analógico como método de control de velocidad, a continuación, en la tabla 46, se indica los parámetros configurados para el control analógico del variador de frecuencia.

Tabla 45

Configuración básica de variador de frecuencia

Parámetro	Configuración del motor	
	Valor	Descripción
P080	0.95	Factor de potencia nominal de placa del motor
P081	60	Frecuencia nominal de placa correspondiente al motor (Hz)
P082	1750	Velocidad nominal de placa correspondiente al motor (RPM)

Continúa

P083	2.7	Intensidad nominal de placa correspondiente al motor (A)
P084	220	Tensión nominal de placa correspondiente al motor (V)
P085	0.56	Potencia nominal de placa correspondiente al motor (kW)

Tabla 46

Configuración para control analógico para el variador de frecuencia

Control analógico		
Parámetro	Valor	Descripción
P003	10	Tiempo de frenado (seg)
P006	1	Consigna analógica
P007	0	Entrada digital para señal de RUN
P021	25	Valor mínimo de frecuencia (Hz)
P022	60	Valor máximo de frecuencia (Hz)
P023	0	Control analógico de 0 a 10V

5.2.2 Estación de control

La estación de control está dividida en dos secciones, la una se encuentra sobre la caja eléctrica, en la parte superior, y comprende el encendido general del sistema, la elección de modo remoto o local, y las perillas de selección de SetPoint de valores de temperatura y velocidad. En la figura 56 se enmarcan los componentes los cuales se detallarán a continuación:

- Ubicación uno se encuentra el encendido del sistema, da energía al módulo de alimentación y al controlador para el proceso general.
- Ubicación dos es la luz indicadora de funcionamiento general del sistema
- Ubicación 3 es el selector de control remoto o local.
- Ubicación 4 es la perilla de seteo de velocidad, por facilidad de operación fue etiquetado en RPM (revoluciones por minutos).
- Ubicación 5 es la perilla de seteo de temperatura, está etiquetado en grados Celsius con un rango de 20°C a 200°C.

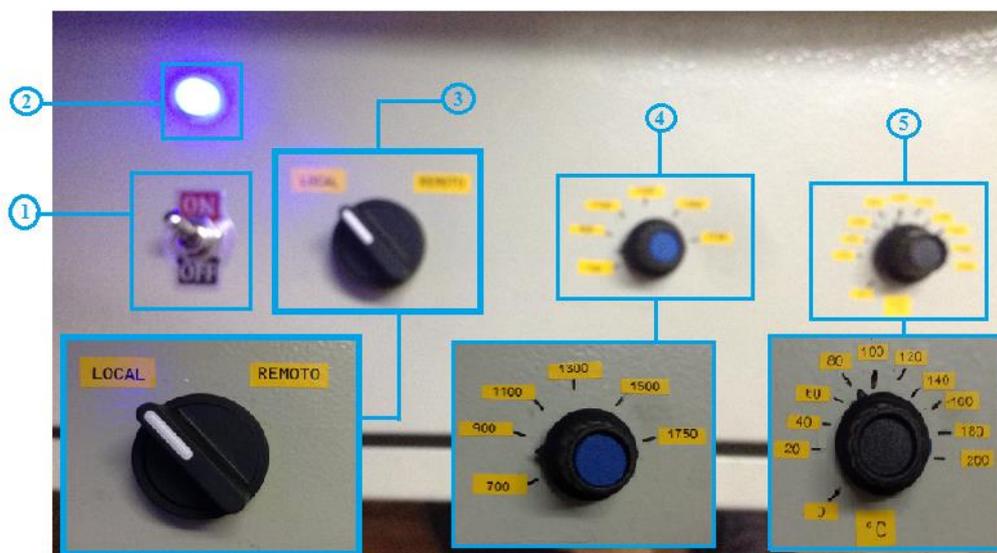


Figura 56 Descripción de controles en la parte superior de la caja eléctrica

La segunda sección de la estación de control comprende el control de los dos motores del sistema: el motor general y de cuchillas. En la figura 57 es la Se muestra en la posición 1 el par de pulsadores de encendido y apagado del motor general y, en la posición 2, del motor de cuchillas. La luz indicadora a la derecha de la figura, no se encuentra en uso por que se encuentra estropeado, pero representa medidas exactas y únicas de la máquina, razón por la que no pude ser remplazado

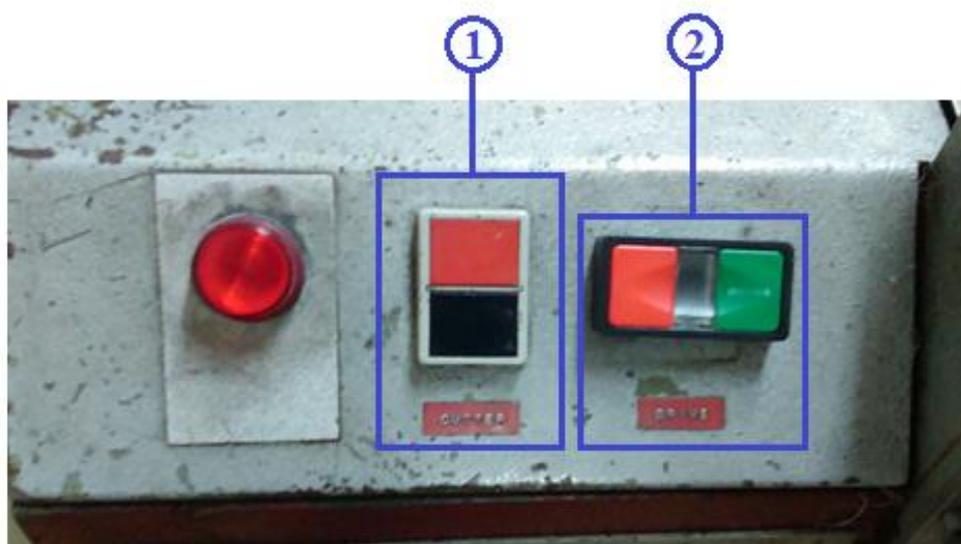


Figura 57 Descripción de controles en la parte superior de la caja eléctrica

5.2.3 Indicadores

Los indicadores son luces piloto que se localizan en la parte frontal del tablero, y muestran el estado activo de niquelina, la temperatura adecuada y el funcionamiento del motor, tal con él se muestra en la figura 58. respectivamente. La etiqueta de temperatura lista, hace referencia a que la temperatura de la cola para el proceso ya se encuentre en el valor seteado por el operador, y es posible encender el motor general sin ocasionar daños en el sistema mecánico de la máquina.

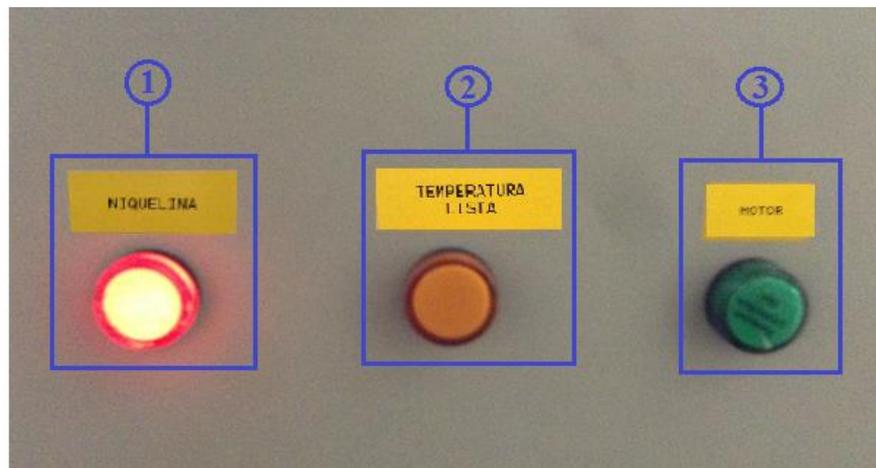


Figura 58 Descripción indicadores en la parte frontal de la caja eléctrica

5.2.4 Sensores

Los sensores tienen la función de comprobar el proceso normal del sistema, es por esto que se instalaron dos tipos de sensores en la máquina, sensores de presencia y de temperatura. Un sensor de presencia tiene la función de contar el número de libros y habilitar el despacho de portadas, el otro de evitar fallos de libros no liberados al final del proceso, mientras que el sensor de temperatura, el cual será una termocupla tipo K para determinar la temperatura del pegamento. En la figura 59 indican la colocación de un sensor de presencia que será únicamente para el sensado de carros con hojas, en la figura 60 se muestra la colocación de la termocupla sobre la goma.

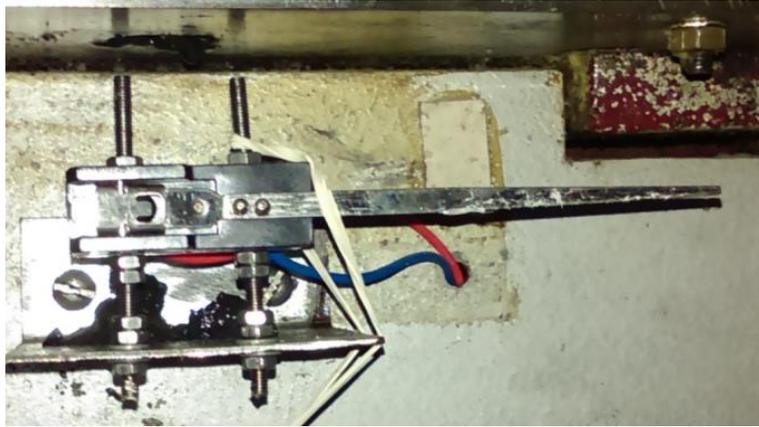


Figura 59 Sensor de presencia de hojas Instalado



Figura 60 Sensor de temperatura instalado

5.3 Pruebas

Este apartado tiene como objetivo detallar algunas de las pruebas a las que se sometieron el sistema de control en el proceso. Se describen procesos de calibración en frío y con la máquina funcionando, con el único propósito de verificar el adecuado comportamiento de los controladores. Además, se describe el resultado de las pruebas a las que se sometió el variador de velocidad, ya que este elemento final de control dispone de funciones y opciones de configuración.

Es necesario recalcar que las pruebas realizadas con el tablero de control diseñado para la encoladora se han ejecutado con la intención de verificar el correcto comportamiento del hardware y software, que las consignas de control operen según

lo esperado, que el sistema global ayude al manejo mecánico de la máquina, optimizando el proceso para elevar la eficiencia.

Comunicación con el HMI

En esta prueba se pretende visualizar en los cuadros de texto de la interfaz los valores de las variables del proceso existentes. Una vez instalado el sistema de control las variables del proceso deben tener valores reales de las magnitudes asociadas a cada una. Una prueba básica del HMI consiste en asociar los valores visualizados con los posibles valores medidos. Por ejemplo, la temperatura de la goma en estado sólido (máquina apagada) debe estar entre los 10°C a 18°C, la velocidad del motor principal es cero rpm, el estado de las cuchillas debe mostrar apagado, así como las niquelinas. Valores como la temperatura de la goma se pueden conocer mediante la medición con instrumentos externos.

La prueba de escritura de variables en el controlador, se realiza en la pantalla de modo remoto escribiendo datos en los campos de texto de la trama configurada en el controlador. Se verifica mediante el puerto serial del controlador que los datos enviados desde el HMI sean correctos. Una vez todos los campos de texto configurados en la trama de la aplicación HMI permiten observar las variables físicas asociadas y los datos que recibe el autómatas son identificados e interpretados se realiza la prueba de conexión entre el HMI y el controlador, para conocer cómo afecta el ruido eléctrico de los motores al enlace, para lo cual se realiza las pruebas anteriores con la máquina encendida, motores y niquelina funcionando. Una vez realizada esto se puede finalizar con la etapa de pruebas básicas del HMI. Este tipo de pruebas se realizó debido al problema que se generan al momento de interpretar los diferentes tipos de datos de envío y recepción inalámbrica mediante bluetooth.

5.3.1 Control de temperatura

La calibración del controlador de temperatura se centra en su parámetro principal, la banda de histéresis, fundamental debido a que este parámetro determina la frecuencia con la que el actuador (niquelinas) conmuta. La temperatura media para la fusión del pegamento es de 90 °C con una banda de histéresis de ± 10 °C. La inercia del proceso hace que el escoger la banda de histéresis sea esencial. La técnica de ajuste

de este valor se puede realizar mediante pruebas experimentales para diferentes temperaturas que se encuentren dentro del rango de trabajo del sistema, con calibraciones manuales del mismo.

La intención de las pruebas realizadas a este sistema es verificar el comportamiento del controlador para diferentes temperaturas. Para lo cual la primera prueba a la que se somete es colocar el sensor de medición en agentes de influencia directa del medio, como lo son el agua hirviendo y el hielo, no se pudo observar el trabajo del controlador debido a que no posee un actuador sobre este tipo de medios, el fin de esta prueba era conocer el trabajo del sensor. La prueba del sistema de control se puede realizar un vez implementado en la máquina.

La prueba a la que se somete el sistema de control de temperatura una vez instalado en la máquina, es controlar la temperatura del caldero de goma a 60 °C, para esta prueba se realiza de forma independiente al control de velocidad. El sistema supera la prueba, por lo que se continúa con el siguiente experimento, el cual nos mostrará el comportamiento simulando un proceso completo, es decir con el motor principal y el motor de cuchillas activados. Esta prueba se realiza con diferentes puntos de referencia (set points).

5.3.2 Variador de velocidad

Las pruebas del variador se realizan en tres etapas, la primera de forma independiente donde se busca conocer el comportamiento del mismo como elemento final de control sobre el motor principal, es decir manejar el control de velocidad del motor, el cambio de giro selección de velocidades. La segunda se trata de probar el control y la interpretación de los comandos enviados desde el controlador al variador de frecuencia sin que este ejerza aún un control sobre el motor, es decir se prueban señales de arranque, paro y consignas de velocidad, tomando en cuenta la configuración que necesita el variador de velocidad para trabajar de este modo.

Una vez realizadas las dos pruebas anteriores, se prosigue a realizar la tercera etapa de pruebas, la cual centra en la unión de las dos pruebas anteriores, entonces el variador trabaja como elemento final de control sobre el motor principal, pero es comandado desde el controlador. Adicionalmente se manipula los tiempos de rampas de aceleración y frenado del variador para constatar su comportamiento.

5.3.3 Fallas

Después de las pruebas realizadas en el sistema se encontraron algunas fallas en el sistema de control, a continuación, se detalla las fallas y los efectos causados en los procesos del sistema.

El control analógico del variador genera ruido: Una de las principales desventajas del variador de frecuencia, es la interferencia eléctrica que puede producir en los equipos conectados a este en cuanto se pone en marcha el motor, y cabe aclarar que para el control analógico es necesario conmutar las tierras de los pines de control del variador, con la señal de salida del controlador, es por esto que una vez que el variador da marcha al motor, el arduino pierde cualidades de control del sistema.

Tierra del sistema: El sistema no contaba con un cable a tierra con la cual pueda liberar corrientes de exceso y estabilizar el sistema de control, ya que su única conexión con la red de alimentación eléctrica, es cable 3X10 AWG en el cual lleva solamente las fases de voltaje trifásico. La conexión con chasis no resulto de manera esperada para el correcto funcionamiento del variador, en la pantalla nos indicaba que un mensaje de advertencia (006), seguido de un paro de motor que hacía referencia a un sobrecalentamiento inexistente del motor. Se puede asumir que es por la mala referencia a tierra del dispositivo el cual, debido a corrientes de retorno, le hace considerar un sobrecalentamiento del motor

Lectura de temperatura incorrecta: El control de temperatura no funciona adecuadamente debido a la lectura del sensor por el integrado AD595, esto puede deberse al inconveniente anterior o al mismo integrado que es susceptible a variaciones de voltaje, por esto y para descartar problemas futuros se cambiara el amplificador señal para la termocupla tipo K, por una más estable y resistente a ruidos

Módulo de alimentación DC: El módulo de alimentación, debido al voltaje trifásico, fue configurado para funcionar a un voltaje de 220v, pero a falta de un cable conectado a tierra, puede que haya influido en la mala lectura de temperatura, ya que suministraba voltaje de entrada para el integrado AD595, y talvez sea una fuente ruido para el controlador ya que no se encuentra aislado la parte de potencia completamente de la de control.

5.4 Correcciones

5.4.1 Transmisor de temperatura

Para la adquisición de la señal de temperatura se optó el integrado MAX6675 que viene acoplado en una pequeña placa, y es compatible con arduino mediante la librería “max6675.h”, la cual después de interpretar la señal de temperatura, presenta en forma de flotante el valor en grados Celcius y Farenheit. La figura 61 muestra la forma física de la placa con el integrado y la conexión básica para la lectura de señal de temperatura mediante una termocupla tipo K.

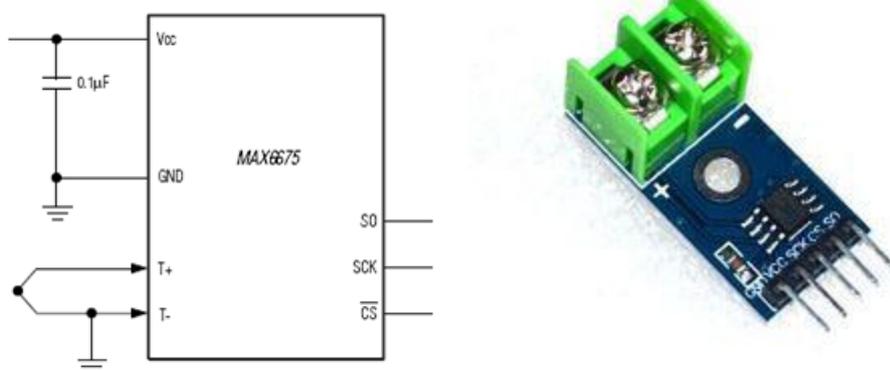


Figura 61 MAX6675 y configuración básica.

Fuente: (DealExtreme, 2016)

5.4.2 Variador de frecuencia

Como se mencionó, el control analógico genera ruido en los equipos conectados a la misma red eléctrica, por este motivo se pretende trabajar con un control Digital para variar la frecuencia suministrada por el variador y aislar eléctricamente en su totalidad. En la figura 62, se muestra el esquema eléctrico que se usara para que la activación de los relés, permitan el paso de 9V proveniente de los pines de control del variador hacia las entradas de control digital del mismo.

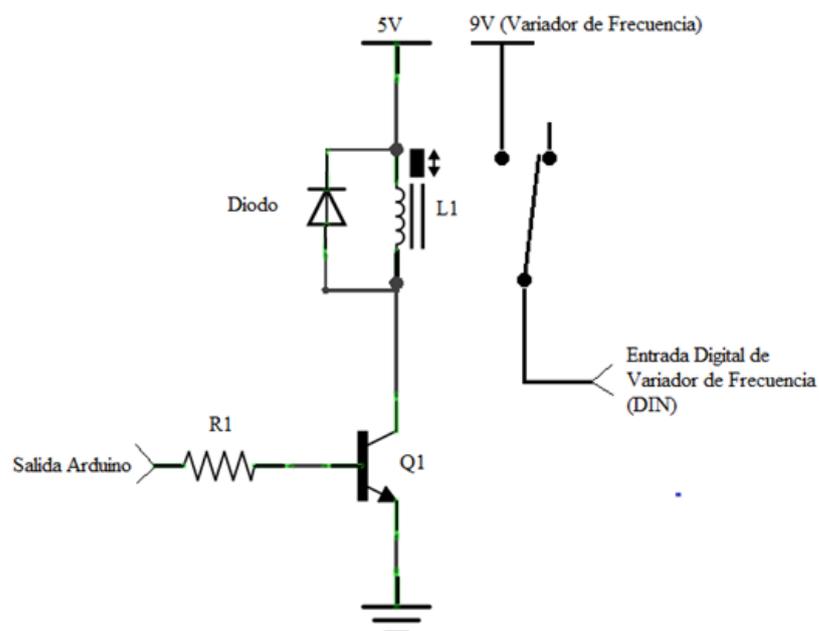


Figura 62 Circuito de aislamiento de señales de control del variador
Fuente: (Admin, 2015)

El variador puede ser configurado, para guardar en registros el valor de diferentes frecuencias a las que se quiere que trabaje el motor, y que mediante comandos en binario dirigidos a los pines 6, 7 y 15, que para el software son el DIN 3,4 Y 5 respectivamente, se puede acceder a estos registros. En la tabla 47 se indica cuáles fueron las frecuencias fijas escogidas para el control del motor, considerando que la frecuencia fija mínima para mover el sistema mecánico de la máquina es 25Hz. En la tabla 48, se indica los nuevos parámetros que fueron configurados para que el variador trabaje mediante control Digital en frecuencias fijas.

Tabla 47

Frecuencias fijas configuradas en variador de frecuencia

Frecuencia Fija	Valor (Hz)	Velocidad en RPM	Valor Binario para DIN 3-DIN 5
1	25	700	100
2	32	900	101
3	39	1100	110
4	46	1300	111
5	53	1500	000
6	60	1750	001

Tabla 48**Configuración de frecuencias fijas del variador de frecuencia**

Control digital		
Parámetro	Valor	Descripción
P006	2	Consigna digital para frecuencias fijas
P007	0	Entrada digital para señal de RUN
P021	25	Valor mínimo de frecuencia (Hz)
P022	60	Valor máximo de frecuencia (Hz)
P040	25	Frecuencia fija 1 (Hz)
P041	32	Frecuencia fija 2 (Hz)
P042	39	Frecuencia fija 3 (Hz)
P043	46	Frecuencia fija 4 (Hz)
P044	53	Frecuencia fija 5 (Hz)
P046	60	Frecuencia fija 6 (Hz)
P051	1	Selección DIN1 como RUN
P053	6	Entrada digital para frecuencias fija 1-6
P054	6	Entrada digital para frecuencias fija 1-7
P055	6	Entrada digital para frecuencias fija 1-8

5.4.3 Conexión a tierra

Se comprobó que el sistema no funciona correctamente y una de las fallas puede ser la falta de una conexión a tierra adecuada. Considerando la estructura del local, una conexión a tierra exclusiva para la máquina, será complicada. Se opta por extender un cable desde una caja eléctrica cercana, que se confirma está conectado a la tierra general del establecimiento, ya que la medición de resistencia entre este y neutro, es menor a 2 ohms, así como el valor de voltaje registrado es 0.

5.4.4 Rediseño de placa electrónica

Después de los fallos encontrados y los cambios por realizarse para el correcto desempeño del sistema, es lógico que se haga un rediseño de la placa electrónica que soportara a la arduino. Es necesario reducir el ruido eléctrico producido por dispositivos cercanos, aquí se indican unas recomendaciones para la reducción de ruido en el diseño del nuevo PCB:

- Utilizar cables y pistas muy cortos para evitar las oscilaciones los acoples, los efectos antena y otros.
- Utilizar condensadores de desacoplo en la alimentación.
- Realizar una buena distribución de las alimentaciones, separando alimentación para fuerza y otra para control.
- Intercalar líneas de masa en los buses de comunicaciones para evitar y reducir el ruido eléctrico asociado a acoples capacitivos.
- Aislar el circuito electrónico completamente mediante optoacopladores o relés, para hacerlo inmune frente a ruidos eléctricos generados en el exterior, o la inserción de corrientes parasitas de retorno hacia el sistema.
- Apantallar los cables de conexión, para evitar la inducción de corrientes y tensiones en los mismos. Para ello se recomienda la utilización de cables coaxiales o entrelazados, evitando los cables finos, planos, pequeños y sin trenzar.

Para el rediseño de la placa electrónica, también se tomaron en consideración los siguientes aspectos generales:

- Aumento de pines para integrado MAX6675, aumentando un capacitor de 1uf para reducir ruido en la recepción de la señal.
- Eliminación de la entrada analógica para la lectura de sensor de temperatura
- El número de entradas se mantiene igual, siendo 9 entradas digitales.
- Las salidas digitales aumentan debido a los 3 pines para a la selección de las frecuencias fijas en binario. En la tabla 49 se muestra la descripción de salidas para la nueva placa.

Tabla 49**Descripción de entradas/salidas digitales para placa electrónica final.**

Núm.	I/O Digitales	Tipo de Alimentación
Salidas		
1	Luz Indicadora de Niquelina Activada (Luz roja)	110 VAC
2	Luz Indicadora de Temperatura Lista (Luz amarilla)	110 VAC
3	Luz Indicadora de Motor encendido (Luz amarilla)	110 VAC
4	Niquelina	220 VAC (SSR)
5	Pistón	220 VAC (SSR)
6	Motor de Cuchillas	220 VAC (SSR)
7	Señal Run para Variador	9VDC (fuente de VF)
8	DIN3 (pin 6- variador)	9VDC (fuente de VF)
9	DIN4(pin 7- variador)	9VDC (fuente de VF)
10	DIN5(pin 15- variador)	9VDC (fuente de VF)
Entradas		
1	Encender cuchillas	5 VDC
2	Apagar cuchillas	5 VDC
3	Encender Motor	5 VDC
4	Apagar Motor	5 VDC
5	Sensor de Hojas	5 VDC
6	Elector remoto/local	5 VDC
7	Sensor Final	5 VDC
8	Motor ON (estación lejana)	5 VDC
9	Motor OFF (estación lejana)	5 VDC

Nota: La niquelina, pistón y motor de cuchillas son controlados por SSR (relés de estado sólido)

En la figura 63, muestra el diseño en 3D de la placa electrónica que será el controlador final del sistema, este será capaz de ser inmune al ruido y contiene todos los cambios mencionados anteriormente. En la tabla 50 se describen cada una de sus partes importantes ubicaciones. En la figura 63, indica el controlador físicamente terminado, con todos sus elementos y partes antes mencionados. Ya listo para reemplazar la placa anterior y esperar mejores resultados en el funcionamiento general

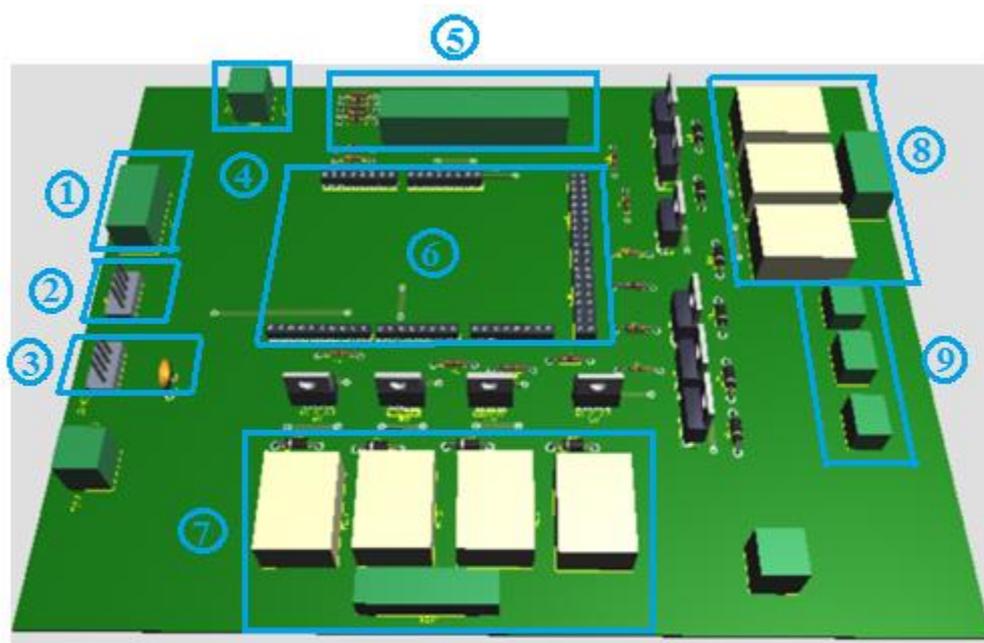


Figura 63 Vista en 3D del nuevo diseño del controlador

Tabla 50

Descripción de las partes del nuevo diseño de controlador

Núm.	Descripción
1	Entradas Analógicas
2	Modulo bluetooth de arduino HC-05
3	MAX6675
4	Entradas analógicas
5	Entradas Digitales
6	Ubicación del arduino Mega de acuerdo a medidas (ver anexo 6)
7	Salidas Digitales para Señales de VF (9VDC)
8	Salidas Digitales para Encendido de indicadores (110V)
9	Salidas Digitales para conmutación de SSR's

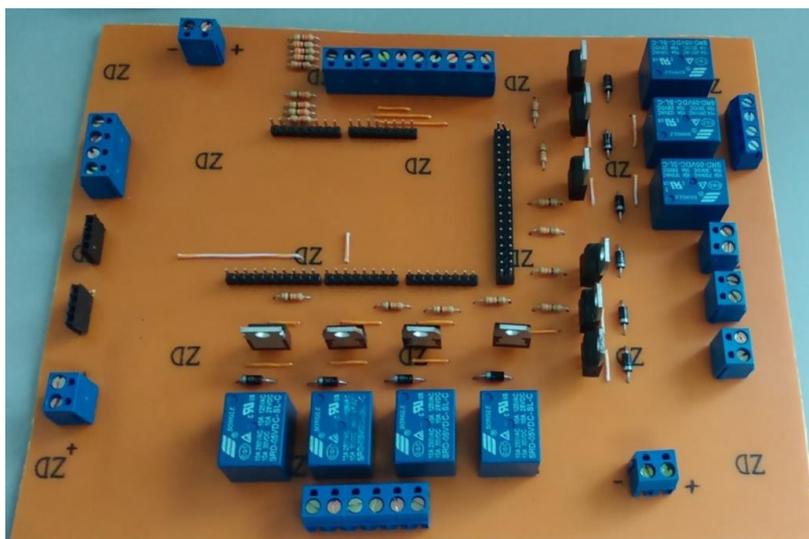


Figura 64 Placa final de controlador principal del sistema

5.4.5 Indicadores

Recordando una de las recomendaciones para evitar ruido eléctrico en la placa electrónica, fue separar alimentaciones con respecto a potencia y control. Es por este motivo que se remplazara las luces indicadoras por unas de alimentación a 110 VAC, de esta manera el módulo de alimentación DC solo sirva en señales de control. En la tabla 51, detallan las especificaciones de las luces piloto que serán utilizadas en el sistema

Tabla 51

Características de la luz indicadora

Luz Indicadora	
Luces led	
Especificaciones	
Marca	ACON
Voltaje	110 VAC
Corriente	40 mA
Frecuencia	60 Hz



5.5 Resultados

Una vez realizada la etapa de corrección de fallos e implementación de la solución final, cada uno de los sistemas se somete nuevamente a las pruebas descritas con anterioridad, en donde tanto el hardware y el software trabajan acorde a lo diseñado y esperado. Con estas pruebas también se pudieron obtener parámetros como la temperatura y velocidad nominal de encolado de libros, ya que estos parámetros se manejaban de forma empírica por parte de los operadores.

El lazo de control ON – OFF con histéresis trabajó de forma correcta luego de las modificaciones realizadas, comprobándose la correcta conmutación del controlador dentro de la banda de histéresis, gracias al buen trabajo que realiza la termocupla. Si se analizan estos resultados con el manejo manual de la temperatura que tenía la máquina anteriormente, se puede dar a conocer que la implementación de este sistema reduce el error ya que se conoce la temperatura del proceso con una ventana de histéresis de hasta 5°C.

Al corregir los problemas de ruido que generaba el variador de frecuencia, se puede constatar la efectiva operación del motor principal, permitiendo que los operadores puedan calibrar el encolado de libros, principal ventaja que se nota, debido a que el sistema mecánico que utilizaba la máquina con anterioridad no permitía tal calibración, teniendo varios libros de pérdidas al momento de encolar. Finalmente, ello se traduce en la confiabilidad y eficiencia del sistema.

5.5.1 Costos

Los costos totales invertidos en el proyecto se detallan en la tabla 52, el diseño y los materiales, fueron considerando en una relación de costo/ beneficio para el sistema.

Tabla 52

Costos del proyecto

Accesorio	Cantida d	Valor Unitario	Valor Total
Arduino Mega	1	\$ 36	\$ 36
Diseño y construcción de placas electrónicas	1	\$ 120	\$ 120
Sensor de Temperatura	1	\$ 17	\$ 17
Transmisor de temperatura	1	\$ 24	\$ 24
Switch fin de carrera luces indicadoras	2	\$ 3.50	\$ 7
Botonera marcha – paro	3	\$ 1.25	\$ 4
Contactador	2	\$ 3.75	\$ 8
Cable 18 AWG – azul	2	\$ 24.00	\$ 48
Cable 18 AWG – rojo	5	\$ 0.75	\$ 4
Cable 18 AWG – negro	5	\$ 0.75	\$ 4
Cable 18 AWG – blanco	5	\$ 0.75	\$ 4
Cable 16 AWG	3	\$ 0.85	\$ 3
Cable 14 AWG	4	\$ 0.95	\$ 4
Relé de Estado Sólido	3	\$ 8	\$ 24
Variador de Frecuencia	1	\$ 110	\$ 110
Caja Eléctrica	1	\$ 60	\$ 60
Fuente de poder	1	\$ 12	\$ 12
Potenciómetros	2	\$ 1	\$ 2
Puntas terminales para cable 18	2	\$ 2.30	\$ 5
Borneras para cable 18	20	\$ 0.85	\$ 17
Elementos adicionales de control	1	\$ 20	\$ 20
		Total	\$ 534

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El trabajo de tesis que en este documento se ha integrado, manifestó implícitamente que el funcionamiento de una tarjeta Arduino en ambientes industriales se desarrolla de una forma correcta si se realiza un circuito de protección y aislamiento adecuado, cumpliendo todas las expectativas requeridas para el funcionamiento, además brindando ventajas como fácil conexión, configuración de la tarjeta, altas velocidades en la transmisión de datos y configuración de señales (entradas y salidas) mediante software.

Se ha diseñado un sistema de control (eléctrico - electrónico), mediante una investigación metódica sobre las opciones disponibles para la selección de dispositivos de instrumentación, control y actuadores que se ajustan a las necesidades de implementación del sistema de temperatura y de velocidad de la máquina SULBY 7 del proceso de encolado de libros en la empresa “BRIUVE”.

Se ha creado una placa electrónica que integra las conexiones y seguridades necesarias para proteger la tarjeta Arduino, demostrando que el controlador puede operar de manera eficiente, al mantener aislado las señales del circuito de control de las señales del circuito de potencia, con mejores resultados que un control manual sobre los actuadores.

Se ha desarrollado una interfaz gráfica en Android Studio 1.3.2, capaz de comunicarse mediante bluetooth con la tarjeta electrónica de control, permitiendo al operador monitorear y controlar el proceso de encolado de libros, a través de cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android y la aplicación instalada, en tiempo real. El diseño de la interfaz se realizó analizando la información del usuario, es decir: tareas que va a realizar el operador, datos que el operador necesita conocer durante el proceso, recalcando la importancia de dedicar tiempo en la fase de pruebas y corrección de fallos para que el usuario opere de una manera eficaz la máquina desde el HMI.

Con los resultados obtenidos durante la implementación del sistema de control se ha documentado de manera detallada el funcionamiento de la máquina, desarrollando un manual de usuario y planos de fuerza y control, los cuales permitirán la corrección de futuras averías si se presentara el caso.

Se ha implementado cuidadosamente el sistema de control y ha sido sometido a una fase de pruebas para corregir los errores que se presentaron, permitiendo que la máquina trabaje de manera eficaz y segura en el ambiente industrial. El control ON – OFF con histéresis, fue la técnica de control escogida para operar sobre el sistema de temperatura, ya que el proceso no exige una temperatura exacta de 90° centígrados para la goma de encolado, si no permite trabajar en una banda de temperatura aceptable con una tolerancia de +/- 5° centígrados.

Para el diseño e implementación de un sistema de automatización y control se debe conocer profundamente el proceso y sus características. El ingeniero en automatización y control debe conocer de manera general los sistemas que afectan el automatismo directa o indirectamente. Solo la experiencia y el trabajo en conjunto con un equipo multidisciplinario garantizan el éxito en la finalización del proyecto proporcionando los resultados esperados.

6.2 Recomendaciones

Para realizar una buena placa electrónica que sea inmune al ruido, debe considerarse el aislamiento completo de las señales que se presuman generen ruido, este aislamiento puede ser óptico o magnético, es decir, mediante opto acopladores o relés, siendo la primera opción como la más adecuada ya que de ninguna manera se generan corrientes parasitas por campos magnéticos.

Es importante dimensionar y seleccionar correctamente los dispositivos a utilizar en la implementación del sistema de control diseñado, ya que se debe tomar en cuenta la compatibilidad e y la capacidad de integración con el hardware que opera actualmente en la máquina encoladora.

Realizar un correcto etiquetado y cableado en el sistema de control, ya que existe el riesgo que un dispositivo o actuador sea conectado de manera diferente causando daños en la máquina.

Se debe seguir estrictamente una secuencia establecida para la etapa de pruebas y puesta en marcha de los sub sistemas que componen el sistema de automatización y control, para evitar errores en la integración total.

Realizar un diagrama de bloques y diagrama de flujo será de gran ayuda al momento de concebir el programa para el controlador, al igual que realizar una documentación del estado inicial de la máquina, ayudará a conocer de manera exacta el funcionamiento actual del sistema y los dispositivos funcionales. Antes de realizar cualquier cambio en el programa del controlador se debe realizar respaldos, manteniendo un orden de versión. De igual forma se respaldará la aplicación HMI.

Una vez concluida la etapa de pruebas, con la aprobación de los operadores y del gerente de la empresa beneficiada se debe respaldar toda la información recopilada en la ejecución del proyecto para entregar conjunto con los planos de solución final a la persona encargada del sistema, este tipo de documentación servirá también a los programadores para futuros trabajos.

Se recomienda que la calibración y seteo de parámetros en el sistema de control se lleve a cabo por personas que conozcan el proceso y que además mantengan experiencia al momento de manipular los dispositivos que fueron empleados.

Para el control del sistema, se realizó un cambio de lógica cableada, a un controlador central, el cual interpreta las señales de entrada, para que estas señales sean limpias y sin variaciones, los filtros capacitivos son adecuados para la recepción limpia y de esta manera una mejor interpretación de la información y acción de control. Finalmente, la entrega y revisión del manual de usuario para la operación del sistema de control de la máquina encoladora siempre resultará favorable para reducir y evitar riesgos de daños personales, sobre el sistema, o algún otro tipo de accidente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admin. (12 de Febrero de 2015). *Circuito de potencia para salida de arduino*.
Obtenido de <http://www.domoteka.es/?p=236>
- Arias, F. (20 de Mayo de 2013). *Arquitectura de un PLC*. Obtenido de
<http://uttutorial-plc.blogspot.com/2013/05/arquitectura-del-plc-omron.html>
- Arrospide Mego, M. (7 de Agosto de 2007). *Proceso de encuadernación por grapado*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-aprende-encuadernar-libros/encuadernacion-simple-grapada>
- Badrinas S.A. (2015). *Empaquetado y presentación de la ANSICOLA HM-477*.
Obtenido de <http://www.badrinas.com/hotmelt.php?lang=fr>
- BricoGeek. (2016). *Placa Arduino MEGA 2560*. Obtenido de
<http://tienda.bricogeek.com/arduino/306-arduino-mega-2560.html>
- Bueno, A. (2014). *Diagrama de bloques de sistema de control en lazo abierto*.
Obtenido de
http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html
- Campuzano, M. (2016). *Logo de comunicación bluetooth*. Obtenido de
http://gadgets_mexico.mx/bluetooth-5-llegara-muy-pronto-cuatro-veces-mas-veloz-doble-de-cobertura-y-beacons/
- Carrillo López, M. F., & Morales Mayorga, F. J. (2015). *Implementación de un módulo de clasificación por materiales y tamaños con el PLC y pantalla táctil para el laboratorio de control y automatización de procesos industriales de la escuela de ingeniería mecánica de la ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5002/1/15T00639.pdf>
- Cartagena, C. (1 de Junio de 2011). *Pasos para encuadernación por encolado*.
Obtenido de <http://cartagenacity.blogspot.com/2011/06/encuadernacion-simple-encolada.html>
- Chicaisa Aimacaña, J. D., & Nieto Condo, R. E. (Mayo de 2014). *Tema: Diseño e implementación de instrumentos virtuales utilizados en la medición de variables eléctricas con dispositivos móviles bajo la plataforma Android, para el laboratorio de circuitos electrónicos*. Obtenido de
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8187/1/T-ESPEL-ENI-0320.pdf>
- CIM II FIUBA. (2014). *Automatización*. Obtenido de
<http://materias.fi.uba.ar/7566/Automatizacion.pdf>

- DealExtreme. (2016). *MAX6675 y configuración básica*. Obtenido de <http://www.dx.com/p/max6675-type-k-thermocouple-temperature-sensor-module-for-arduino-blue-368277#.V5pY1v197IU>
- Developers. (2016). *Bluetooth*. Obtenido de <http://developer.android.com/intl/es/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>
- Direct Industry. (2016). *Microcontrolador ATMEL*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/atmel/product-13779-584923.html>
- Direct Industry. (2016). *PC industrial marca SIEMENS*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/siemens-industry/product-30335-1169093.html>
- Exa Pro. (2016). *Encoladora giratoria de marca BRACKETT*. Obtenido de <http://www.exapro.es/plegadora-encoladora-brackett-gpm-62a-p60419107/>
- FESTO. (2016). *Válvula neumática*. Obtenido de <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/equipos-de-practicas/neumatica/componentes/temporizador-neumatico,normalmente-cerrado.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC41NjQuNDUwNA>
- Galeano, A., Pachon, A., Garcia, L., & Nupan, O. (Abril de 2013). *Esquema de conexión de arranque estrella – delta de un motor*. Obtenido de <http://electronica20132.blogspot.com/2013/04/arrancador-estrella-triangulo-con.html>
- González Von Schmelting, J. (5 de Mayo de 2016). *Pantalla de inicio de Android Studio*. Obtenido de <http://proyectosbeta.net/2016/05/instalar-android-studio-en-ubuntu-16-04-lts/>
- Gutiérrez Damián, N. C. (2013). *Control ON/OFF para la niquelina de maquina encoladora*. Obtenido de <http://www.puntoflotante.net/CONTROLONOFF.htm>
- InfoPLC. (31 de Julio de 2011). *Entender las opciones de control de automatización: PLC - PAC - PCbA*. Obtenido de <http://www.infoplac.net/documentacion/5-automatas/1071-entender-las-opciones-de-control-de-automatizacion>
- Interpresas net. (2016). *Encoladora PUR giratoria de marca HORIZON*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Graficas/FeriaVirtual/Producto-Encuadernadoras-de-cola-Eva-y-Pur-Horizon-BQ-470-Pur-109324.html>
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. (2004). *NTP 241: Mandos y señales: ergonomía de percepción*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_241.pdf

- Ministro de trabajo y asuntos sociales España. (2008). *NTP 659: Carga mental de trabajo: diseño de tareas*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_659.pdf
- Moran, C. (26 de Octubre de 2012). *Arquitectura de un Microcontrolador*. Obtenido de <http://carolinamorand.blogspot.com/2012/10/funcionamiento-de-un-microprocesador.html>
- Oscar. (22 de Enero de 2009). *Programa en lenguaje KOP*. Obtenido de <http://www.ooscarr.com/nerd/elblog/2009/01/programando-el-kop-del-plc-s7-200-con.php>
- Pdt, V. (29 de Septiembre de 2012). *Encoladora lineal de marca Sulby*. Obtenido de <http://personalizaperu.blogspot.com/2012/09/encoladora-sulby.html>
- Pere Ponsa, A. G. (2015). *Diseño de pantalla*. Obtenido de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>
- Ribas, J. (9 de Junio de 2016). *Lógica cableada y lógica programada*. Obtenido de <https://dissenyproducte.blogspot.com/2010/12/logica-cableada-y-logica-programada.html>
- Ruiz Pavon, J. (2016). *Pila de protocolos bluetooth*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/iscjorgeruizpavon/dispositivos-de-comunicacion>
- Ruiz, A., Micolta, M., & Zuñiga, K. (24 de Mayo de 2008). *Tecnologías de automatización por lógica programada*. Obtenido de http://logicas-aut.blogspot.com/2008/08/tecnologias-de-automatizacion-por_24.html
- SIEMENS. (1998). *Dimensiones mínimas de separación para el variador de frecuencia Micromaster de marca Siemens*. Obtenido de <http://deeea.urv.cat/deeea/images/laboratoris/manuals/micromaster.pdf>
- Suquilanda Villa, T. V., & Idrovo Torres, M. A. (Febrero de 2013). *Diseño y montaje de enlace inalámbrico para transmisión de datos utilizando tecnología Bluetooth*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4785/1/UPS-CT002640.pdf>
- tech make Electronics. (2016). *Compuerta Lógica*. Obtenido de <http://www.techmake.com/productos/components/generalics.html>
- Timothy. (2014). *Configuración básica para AD595*. Obtenido de <http://www.instructables.com/id/Temperature-Control-For-Kitchen-Appliances/step2/Sensing-Temperature/>
- Torres Valle, F. J. (21 de Julio de 2015). *Dispositivos Lógicos Programables II*. Obtenido de <http://serdis.dis.ulpgc.es/~itis->

dl/Teoria%20VHDL/mas%20cosas/II_DISPOSITIVOS_LOGICOS_PROGR
AMABLES.pdf

Wikipedia La Enciclopedia Libre. (19 de Mayo de 2016). *Android Studio*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Android_Studio

WireBids. (20 de Mayo de 2015). *Encoladora Sulby 7 Clamp Perfect Binder*. Obtenido de <https://www.wirebids.com/lots/view/sulby-7-clamp-perfect-binder/21661>

WireBids. (20 de Mayo de 2015). *Vista Frontal de la maquina Encoladora de libros Sulby 7*. Obtenido de <https://www.wirebids.com/lots/view/sulby-7-clamp-perfect-binder/21661>

WireBids. (20 de Mayo de 2015). *Vista Posterior de la maquina Encoladora de libros Sulby 7*. Obtenido de <https://www.wirebids.com/lots/view/sulby-7-clamp-perfect-binder/21661>

Zingade, V. (5 de Febrero de 2015). *Diagrama de una red scatternet*. Obtenido de <https://www.quora.com/How-the-files-are-transferred-via-Bluetooth-or-Wifi>

ANEXOS

Anexo 1. Planos del Estado Inicial de la máquina

Anexo 2. Diagrama P&ID

Anexo 3. Planos de Propuesta de solución inicial

Anexo 4. Planos de la propuesta de solución final

Anexo 5. Imagen 3D de la placa electrónica para el controlador

Anexo 6. Mecanizado de la placa electrónica para el controlador

Anexo 7. Gabinete Eléctrico

Anexo 8. Manual de Usuario