



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
INDUSTRIAL CORTADORA DE FILOS DE PVC PARA LA
EMPRESA EmFALU**

AUTORES: CUEVA JARAMILLO, JAIRO JACOB

VELASQUEZ SANGUANO, LISET NATALIA

DIRECTOR: ING. LUDEÑA, FAUSTO

SANGOLQUÍ, Enero 2016

CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, " *Diseño y construcción de una máquina industrial cortadora de filos de PVC para la empresa EMFALU*", realizado por la señorita Lisset Natalia Velásquez Sanguano y el señor Jairo Jacob Cueva Jaramillo, 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 la señorita Lisset Natalia Velásquez Sanguano y al señor Jairo Jacob Cueva Jaramillo, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 Enero del 2016

Atentamente.

Ing. Fausto Ludeña

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Liset Natalia Velásquez Sanguano, con cédula de identidad N°171996178-9 y Jairo Jacob Cueva Jaramillo, con cédula de identidad N°172274010-5, declaramos que este trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA INDUSTRIAL CORTADORA DE FILOS DE PVC PARA LA EMPRESA EmFALU" 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, 22 Enero del 2016


Liset Natalia Velásquez Sanguano
CI:171996178-9


Jairo Jacob Cueva Jaramillo
CI:172274010-5

AUTORIZACIÓN



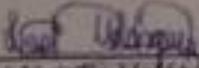
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

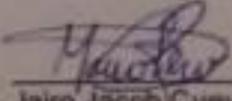
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Liset Natalia Velásquez Sanguano y Jairo Jacob Cueva Jaramillo, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA INDUSTRIAL CORTADORA DE FILOS DE PVC PARA LA EMPRESA EmFALU" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 22 Enero del 2016


Liset Natalia Velásquez Sanguano
CI:171996178-9


Jairo Jacob Cueva Jaramillo
CI:172274010-5

DEDICATORIAS

“La última derrota de la vida es ceder ante las dificultades”.

A Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado junto a mi cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo un apoyo en todo momento al igual que mis hermanas. Depositando su entera confianza en cada reto que se me ha presentado sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad.

Liset Natalia Velásquez Sanguano

El desarrollo de este trabajo se lo dedico a todas y cada una de las personas que creyeron en mí y apalancaron su confianza para terminar esta etapa de mi vida profesional.

Una especial dedicatoria a la mujer que con su ejemplo y ganas de superación fue mi guía y que con esfuerzo ha logrado cultivar sus sueños y esperanzas reflejadas en mi esfuerzo, a mi Madre.

Jairo Jacob Cueva Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente, a mis padres quienes a lo largo de mi vida me han apoyado y motivado en mi formación académica, creyendo en mí en todo momento sin dudar de mis habilidades, a mi ángel guardián que siempre está conmigo dándome fuerzas, a mis hermanas y hermano a quienes amo con el alma, a mis tíos quien con sus consejos y apoyo creyeron en mí y a mis abuelitos pilar fundamental de mi familia.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Fausto Ludeña por el tiempo dedicado a lo largo del desarrollo del proyecto, por su gentileza y compartir sus conocimientos en forma incondicional

Velásquez Sanguano Liset Natalia

Mi especial agradecimiento a mi familia y amigos ya que con su apoyo he podido superar las adversidades convertidas en grandes retos que la vida me ha planteado.

Un agradecimiento a la familia de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa “Tabacalera Andina S.A. TANASA”, porque ellos fueron mi segunda escuela y gracias a sus consejos y enseñanzas he conseguido obtener un elevado nivel profesional.

Cueva Jaramillo Jairo Jacob

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	2
1.3. Alcance del proyecto	7
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. General.....	8
1.4.2. Específicos	8
1.5. Descripción del proyecto	9
1.6. Descripción del proceso de corte.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
ESTUDIO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Materia prima.....	13
2.1.1. Bobinas de Canto o PVC	13
2.2. Sistemas mecánicos.....	14
2.2.1. Engranés	14
2.2.1.1. Tornillo sinfín.....	14
2.2.1.2. Mecanismo de cremalleras	15

2.2.2. Sierra circular dentada.....	15
2.2.3. Tensores.....	16
2.2.4. Motorreductores.....	17
2.3. Sistemas Eléctricos	18
2.3.1. Variador de velocidad	18
2.3.2. Encoder	20
2.3.3. Sistema de Control	20
2.3.3.1. Acciones Básicas de Control.....	21
2.3.3.2. Tipos de controles y modelos matemáticos	22
2.3.4. Controlador Lógico Programable (PLC).....	25
2.3.5. HMI (interface hombre – máquina)	26
2.3.6. Sensores fotoeléctricos	27
2.3.7. Interruptor Termomagnético	29
2.4. Sistemas de seguridad	30
2.4.1. Paro de emergencia	30
2.4.2. Guardas fijas.....	30
2.5. Señalización	30
2.6. Normativas	31
2.6.1. VDI 3239/40.....	31
CAPÍTULO 3.....	33
DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE.....	33
3.1. Diseño de Hardware	33
3.1.1. Diseño mecánico de la máquina cortadora de filos de PVC	33
Elección de la cuchilla.....	35
3.1.2. Diseño eléctrico de la máquina cortadora de filos de PVC	37
3.1.2.1. Diseño tablero eléctrico de control	37

3.1.2.2. Cálculo del motor	39
3.1.2.3. Cálculo de protecciones	44
3.1.2.4. Cálculo de potencia de la máquina cortadora de filos	47
3.2. Diseño del software	48
3.2.1. Diseño electrónico de la máquina cortadora de filos de PVC	48
3.2.2. Diseño del control automático.....	51
3.2.2.1. Diseño del control de velocidad	51
3.2.2.2. Diseño de la Red.....	60
3.2.2.3. Diseño de la red Profinet.....	61
CAPÍTULO 4.....	63
REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN	63
4.1. Flujo de materiales	63
4.2. Requerimiento del hardware y software	64
4.2.1. Hardware	64
4.2.2. Mecanización	64
4.2.3. Software.....	70
4.2.3.1. Diagrama de flujo	70
4.2.3.2. Programación TIA Portal.....	70
4.3. Diseño de bloques Hardware y Software.....	72
CAPÍTULO 5.....	74
EJECUCIÓN DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....	74
5.1. Implementación	74
5.1.1. Construcción Mecánica	74
5.1.2. Construcción Eléctrica – Electrónica	77
5.1.3. Construcción Automática.....	82
5.2. Pruebas y resultados de la máquina cortadora de filos PVC.....	85

5.2.1. Análisis de Resultados	91
CAPÍTULO 6.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6.1. Conclusiones	94
6.2. Recomendaciones	95
Referencias.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de corte artesanal EmFALU.....	3
Figura 2 Diseño de la máquina a construirse.....	12
Figura 3 Bobinas de canto	13
Figura 4. Sierra circular diente	16
Figura 5. Tensor mecánico	16
Figura 6. Variador de velocidad	18
Figura 7. Esquema de principio de un variador de velocidad	19
Figura 8. Encoder	20
Figura 9. Diagrama de bloques de un sistema de control.....	21
Figura 10. Esquema de sistema de control.....	21
Figura 11. Diagrama de bloques de un control automático.....	22
Figura 12. Diagrama de bloques de un control On-Off	22
Figura 13: Controlador Lógico Programable	26
Figura 14. HMI (Interfaz humano - máquina)	27
Figura 15. Diagrama de composición de un sensor fotoeléctrico.....	28
Figura 16. Interruptor termo-magnético	29
Figura 17. Símbolos utilizados en los gráficos de flujo de materiales	32
Figura 18. Diseño estructural de la máquina cortadora de fillos PVC.....	33
Figura 19. Portabobinas del canto sin corte.....	34
Figura 20. Portabobina del canto cortado	34
Figura 21. Guías	35
Figura 22. Freno mecánico	35

Figura 23. Reglas.....	35
Figura 24. Elementos que componen el tablero de control.....	38
Figura 25. Grado de protección del motor de la cuchilla y motor de arrastre.....	44
Figura 26. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 1	49
Figura 27. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 2	49
Figura 28. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 3	50
Figura 29. Ventana de programación.....	51
Figura 30. Diagrama de bloques del sistema.....	52
Figura 31. Ingreso de datos de entrada y salida	56
Figura 32. Importación de datos	56
Figura 33. Modelamiento de la planta.....	57
Figura 34. Importación datos PID	57
Figura 35. Características del sistema.....	58
Figura 36. Características del sistema.....	58
Figura 37. Control PID	60
Figura 38. Dispositivos del sistema de Red	61
Figura 39. Topología punto - punto.....	62
Figura 40. Conexión Profinet	62
Figura 41. Dirección IP de conexión	62
Figura 42. Flujo de materiales.....	63
Figura 43. Diagrama de bloque Hardware y Software	73
Figura 44. Platos bobinas	74
Figura 45. Buje de bobina.....	75
Figura 46. Sierra dentada	75
Figura 47. Eje de soporte.....	76
Figura 48. Elementos Mecánicos contruidos.....	76
Figura 49. Puerta del tablero de Control Eléctrico	77
Figura 50. Construcción del tablero de Control Eléctrico 1	78
Figura 51. Construcción del tablero de Control Eléctrico 2	78
Figura 52. Construcción del tablero de Control Eléctrico 3	78
Figura 53. Construcción del tablero de Control Eléctrico 4	79
Figura 54. Tablero de control eléctrico para el panel.....	80

Figura 55. Motor y Guardamotor.....	80
Figura 56. Ubicación de los sensores fotoeléctrico.....	80
Figura 57. Sensor fotoeléctrico	81
Figura 58. Pulsantes de mando, paro y emergencia.....	82
Figura 59. Variador de velocidad	82
Figura 60. PLC Siemens S7 1200.....	83
Figura 61. Panel Siemens KTP 300.....	83
Figura 62. Diagrama bloques activación del motor M1 (cuchilla).....	84
Figura 63. Diagrama bloques activación del motor M2 (arrastre)	84
Figura 64. Resultado de la posición errónea de la cuchilla	85
Figura 65. Giro correcto de la cuchilla circular dentada	85
Figura 66. Sistema de freno mecánico	86
Figura 67. Puerta de seguridad.....	86
Figura 68. Paro momentáneo (botón rojo)	87
Figura 69. Paro emergente (capuchón rojo)	87
Figura 70 Interruptor principal	88
Figura. 71 Mal clima.....	88
Figura 72. Corte de PVC (22x0.45) mm.....	88
Figura 73. Canto a cortar	89
Figura 74. Medida del corte a 19 mm	89
Figura 75. Estabilización de la planta	92
Figura 76. Capacitación del modo de uso de la máquina	93

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Análisis de precios corte artesanal	5
Tabla 2 Análisis de precios corte automático.....	6
Tabla 3 Resumen de análisis de precios corte artesanal vs corte automático	6
Tabla 4 Resumen Características de Acción de Control.....	25
Tabla 5 Normativa.....	31
Tabla 6 Ángulo de ataque	36
Tabla 7 Límite máximo de la velocidad de la cuchilla	37

Tabla 8	Tablas potencias nominales de motores trifásicos.....	41
Tabla 9.	Elección de conductores AWG	46
Tabla 10	Valores de potencia	47
Tabla 11	Datos tomados del encoder	52
Tabla 12.	Requerimientos de la Red.....	60
Tabla 13	Mecanizado Parte 1	65
Tabla 14	Mecanizado Parte 2	66
Tabla 15	Mecanizado Parte 3	67
Tabla 16	Mecanizado Parte 4	68
Tabla 17	Mecanizado Parte 5	69
Tabla 18	Tabla de variables PLC.....	71
Tabla 19	Variables HMI	72
Tabla 20	Tabla toma de medidas MÁQUINA cortadora de filos	90

RESUMEN

En el presente documento se detalla los procedimientos llevados a cabo en el diseño y construcción de una máquina industrial cortadora de fillos PVC para la empresa EmFALU. La construcción se dividió en tres etapas: mecánica, eléctrica – electrónica y automática, cada una de las etapas cuenta con su diseño e implementación. El trabajo consta de 5 capítulos donde se detalla el corte artesanal que se realizaba en la empresa EmFALU, un estudio del arte considerando todos los elementos a usarse para la construcción de la máquina, el detalle del diseño de cada una de las etapas para su construcción, la implementación de los diseños mecánicos, eléctricos – electrónicos y automáticos y las pruebas respectivas de la máquina construida en la realización del corte del ancho de PVC.

PALABRAS CLAVES:

- **CANTO**
- **CORTE**
- **TABLERO ELÉCTRICO**
- **PLC**
- **HMI**

ABSTRACT

In this document, we detailed the procedures performed in the design and construction of a PVC cutter machine created for the EmFALU Company. The construction was divided into three stages: mechanical, electric - electronic and automatic, each one with her design and implementation. The work consists of 5 chapters where the craft cut that was made in the company EmFALU, an art studio considers all the elements to be used for the machine construction the detailed design of each of the stages for construction , implementation of mechanical, electrical designs - electronic and automatic and the respective tests of the PVC cut width.

KEYWORDS

- **EDGE**
- **CUT**
- **MECHANIC STRUCTURE**
- **ELECTRIC BOARD**
- **PLC**
- **HMI**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Cantear un tablero significa pegarle en el tablón o tabla de madera canto o PVC para tapar el aglomerado que queda visto al realizar el corte o dar un producto de calidad si el tablero es macizo. Para poder realizar el canteado es necesario tener una medida exacta de ancho del canto o PVC. Actualmente el mercado ecuatoriano no dispone de una máquina automática, que permita reducir el ancho original del filo PVC, para el proceso de canteado de modulares de madera, para la construcción de muebles.

Servicios Integrados y Corporativos EmFALU es una de las empresas que realiza el proceso de canteado de modulares de madera, la empresa realiza a través de un proceso manual el corte de fillos de PVC, la empresa dispone de bobinas de varias medidas longitudinales.

El proceso manual lo hace un obrero de la empresa EmFALU, efectuando un corte artesanal utilizando dos tablas unidas con un orificio donde ingresa por un lado el canto y por el otro salga el canto cortado, en la mitad de los tableros tiene un hueco donde ingresa la sierra que se utiliza para el corte de madera y ahora también para el corte de canto, para que no se desenrolle o golpee la bobina a los obreros se sostiene a través de elementos manuales.

Este proceso implica la utilización de la máquina cortadora de tablas existente en la empresa y la mano de obra del personal de la empresa, dando como resultado de esta actividad mayor desgaste en la sierra de la máquina cortadora de tablas, mayor tiempo operativo, disminución en la calidad del producto y un alto riesgo en la seguridad del operario. Como muestra Figura 1.

Las irregularidades generadas en el producto terminado, ocasionan disminución de la vida útil de la máquina canteadora, al no tener una materia prima con un corte exacto.

Debido a la necesidad de la empresa EmFALU en la construcción de la máquina cortadora de fillos de PVC, como el principal aspecto se considerará la seguridad que la máquina brindará a su operario, tomando en cuenta que la utilización de una sierra eléctrica es de alto riesgo, la máquina presentará los requisitos de seguridad y protección ante cualquier evento de riesgo hacia el operario cumpliendo así con las normas establecidas para la construcción de una máquina industrial.

1.2. Justificación e importancia

La reducción de tiempos operativos garantizando la seguridad de los operarios es una de las necesidades de tener procesos automáticos en todo tipo de industria. Evidenciando mejoras en la productividad y calidad de los procesos industriales.

Servicios Integrados y Corporativos EmFALU Cia. Ltda. realiza el proceso de corte de fillos de PVC para cantos de modulares de madera manualmente, lo que compromete directamente la calidad de sus productos y la seguridad del personal destinado para esta actividad. Al ser un proceso manual se evidencian irregularidades en el corte de los fillos de PVC.

Con la construcción de una máquina cortadora de fillos de PVC automática se mejorará el rendimiento y calidad del producto; lo cual permite no solamente la reducción de costos operativos sino también permite garantizar la seguridad de los operarios.



Figura 1. Proceso de corte artesanal EmFALU

La empresa además de mejorar los puntos antes expuestos, podrá extender su línea de negocio al poder comercializar fillos de PVC (fillos) de otra dimensión que actualmente el mercado no abastece localmente.

El proyecto se justifica plenamente puesto que permite el ahorro de costos de mano de obra, optimización de tiempo, disminución del desperdicio de materia prima ya que la construcción de esta máquina garantiza un corte eficaz y eficiente, considerando la seguridad del operario. Logrando así un producto final de alta calidad y trayendo beneficios para la empresa, que se mostrará más adelante.

Es importante también considerar que con el desarrollo de la máquina cortadora de fillos de PVC, se han aplicado las metodologías y técnicas adquiridas durante nuestra formación en la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", en el aspecto eléctrico, electrónico en automatización y control e investigativo, colaborando así con el desarrollo de la sociedad aportando con el diseño y construcción de este proyecto, que actualmente no dispone el mercado ecuatoriano.

Se realiza el siguiente análisis económico, para sabiendo así el tiempo que se tardará la empresa en recuperar la inversión en la construcción de la máquina cortadora de fillos PVC.

Para la realización del análisis económico se toma varios tiempos en la empresa cuando el trabajador realiza el corte manual como muestra el Anexo 3.

Tabla 1
Análisis de precios corte artesanal

Costo en operario				
Se realiza el corte de las bobinas de PVC 30 minutos				
dando un total de 0,5 horas y por semana 3 horas que emplea el operador para completar el trabajo				
	Hora	Semanal(3 horas)	Mensual(12 horas)	Anual (144)
Salario básico	\$ 2,13	\$ 167,50	\$ 670,00	\$ 8.040,00
Salario en proceso	\$ 2,13	\$ 6,36	\$ 25,50	\$ 306,00
Costo de la sierra				
Con el corte manual se desgasta la sierra haciendo un cambio de 1 por semana				
es de \$108				
	Hora	Semanal(3horas)	Mensual(12 horas)	Anual(144)
Desagaste xhora	0,023	0,068	1,364	16,364
sierra a \$ 108	\$ 2,45	\$ 7,36	\$ 29,45	\$ 353,45
Costo de electricidad				
El valor kW es de \$0,095 cuando el consumo mensual varia entre (0-50kW)				
	Hora	Semanal(3horas)	Mensual(12 horas)	Anual
kW consumidos	5,19kW	15,57kW	62,28kW	747,36kW
Valor consumido	\$ 0,10	\$ 0,29	\$ 1,14	\$ 13,68
Mantenimiento				
Para el mantenimiento del sistema, se prevee visitar el lugar 3 veces anual				
	Horas de vista	Costo por hora	Costo visita (4 horas)	Costo Anual
Mantenimiento	1	20	\$ 80,00	240,00
Cambio de materiales			\$ 600,00	2.400,00
Costo mantenimiento			\$ 680,00	2.640,00
COSTO TOTAL			\$ 736,09	\$ 3.313,13

1.3. Alcance del proyecto

Se analizará cada aspecto del proceso mencionado para conocer la necesidad del mismo, y con ello desarrollar soluciones de ingeniería a los problemas encontrados en este.

Se realizará el diseño de la máquina cortadora de fillos de PVC, analizando las necesidades del cliente y las condiciones industriales de operación, que se detallan a continuación:

- Como una necesidad primordial en el diseño se considerará el espacio reducido de la empresa EmFALU, ya que la máquina debe ser a una medida máxima de 1.5 metros de largo, 1.0 metro de ancho y 1.0 metro de alto.
- La utilización de material inoxidable y resistente ante vibraciones en el funcionamiento de la máquina.
- La máquina cortadora de fillos de PVC no podrá ser tan pesada, ni tan ligera y a su vez usará tapones anti vibraciones en caso de existir vibración.
- La máquina cortadora de fillos de PVC tendrá una forma de funcionamiento horizontal, en la parte superior izquierda se encontrará la pantalla táctil, y sus botones de funcionamiento, en la trasera inferior de la máquina se coloca el tablero de eléctrico.

En la construcción se preverá el control de velocidad, torque de las bobinas en la operación de la máquina y como aspecto fundamental la seguridad del operador, basada en normas industriales de construcción de equipos vigente.

Se entregará una máquina automática debido a las necesidades de los procesos productivos de la empresa EmFALU, considerando que el rango de corte de fillos de PVC va desde los 15 mm regulables hasta los 42 mm en casos especiales, considerando también las especificaciones de la materia prima. Generando así una máquina versátil, adaptable a los cambios y requerimientos del consumo de la empresa.

Se entregará a la empresa los programas e interfaces desarrollados para la automatización de la máquina cortadora de fillos de PVC, así como también los documentos técnicos, manuales de operación y manuales de mantenimiento.

Se presentará también un programa de mantenimiento, donde se detalla historial de mantenimiento, periodicidad de mantenimiento y cronogramas de revisiones técnicas de la máquina; así como también check list de inspección periódica para prolongar la vida útil del equipo.

Finalmente se realizará la capacitación del personal de la empresa, para que conozcan la correcta operación y manejo de la máquina diseñada y construida para el proceso.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Realizar el diseño y construcción de una máquina automática de corte de fillos de PVC para la reducción de la medida de ancho de la materia prima de la Empresa de Servicios Integrados y Corporativos EmFALU Cia. Ltda.

1.4.2. Específicos

- Investigar los tipos existentes de tecnología para la aplicación del proyecto.
- Analizar el estado del proceso de corte actual de la Empresa para poder dar una solución automática a esta necesidad.
- Diseñar el hardware y software de la máquina cortadora de los fillos de PVC, considerando normas de construcción y diseño garantizando la seguridad y operatividad del usuario final.
- Integrar los diseños de la máquina cortadora de fillos de PVC, para la ejecución de pruebas del funcionamiento.
- Instalar la máquina cortadora de fillos de PVC, dentro del proceso productivo de la empresa EmFALU, para verificar su funcionamiento y puesta en marcha.

- Elaborar los documentos técnicos y manuales de operación que permitan conocer a detalle el funcionamiento de la máquina.
- Capacitar al personal de la empresa para una correcta operación de la máquina.

1.5. Descripción del proyecto

La creación de la máquina industrial cortadora de filos de PVC, nace a través de la necesidad del corte del ancho de las bobinas de canto o PVC, para así poder realizar el proceso de canteado de modulares de madera.

Al dialogar con el gerente de la empresa EmFALU, se comprende y analiza las siguientes necesidades relevantes de la empresa:

- En el mercado no se dispone de una máquina que realice el corte o reducción de filos de PVC; simplemente existen máquinas que realizan el proceso completo de canteado y son máquinas industriales costosas.
- EmFALU realiza un corte artesanal a las bobinas para así poder conseguir el ancho necesario para el canteado. En el corte no se obtiene como resultado un filo PVC liso sino un filo dentado.
- En el momento la empresa EmFALU al realizar el corte artesanal, no llega a cumplir a cabalidad los estándares que da la empresa a sus clientes, al ofrecer un producto con un filo liso en los tableros o tablones.
- Al realizar el corte artesanal el operario corre riesgo al golpearse en el proceso.

Una vez comprendida la necesidad del cliente se plantea la realización de un proyecto que se basa en el diseño y construcción de una máquina industrial cortadora de filos de PVC en la empresa EmFALU.

Esta máquina tendrá tres etapas para la construcción: la primera etapa es la parte mecánica, la segunda etapa es la parte eléctrica-electrónica y la tercera es la automática para satisfacer las necesidades del cliente.

La etapa mecánica es la construcción de la armadura, soporte para pesos, torques, frenos mecánicos de la máquina utilizando material de acero, hierro, platina, caucho y transmisión para la base, mesa, coronas, tornillos sinfín, platos para las bobinas entre otros.

Una vez obtenida la parte mecánica la siguiente etapa es el diseño y construcción de la parte eléctrica y electrónica en automatización y control.

Para la parte eléctrica se ha construido el tablero, el cual contiene, dispositivos de control y mando como son:

- PLC (Controlador Lógico Programable)
- Variador de Velocidad
- Contactores
- Transformador de aislamiento
- Porta Fusibles
- Interruptor

Se instala en la parte superior izquierda de la máquina el panel de control, el pulsante de marcha, pulsando de paro, pulsante de emergencia, lámpara de proceso y lámpara de emergencia.

Se coloca en la estructura el motor, el motorreductor y los sensores fotoeléctricos ubicados como muestra el diseño de los planos mecánicos y eléctricos que se muestra más adelante.

Para el control y automatización se realiza la conexión de los elementos eléctricos y electrónicos para así poder realizar la programación del PLC y variador de velocidad teniendo las señales de entrada y salida correspondientes considerando en la programación las siguientes necesidades de automatización:

- Para la realización del proceso de corte de filos de PVC.
- Para el control de seguridad en el proceso de corte de filos de PVC, activando los sensores fotoeléctricos en las compuertas dando así seguridad al operario.

- Para utilización del control PI cuando sea necesario y así mantener una velocidad constante en el arrastre de las bobinas en el corte.
- En la programación se considera los peores escenarios considerando interrupciones como pueden ser:
 - Corte de la bobina anticipado.
 - Paro de emergencia.
 - Compuerta de seguridad que no se cierre.
 - Desenergización del tablero de control
- Se programa el variador de velocidad para mantener una velocidad constante en la sierra usada para el corte de fillos de PVC.

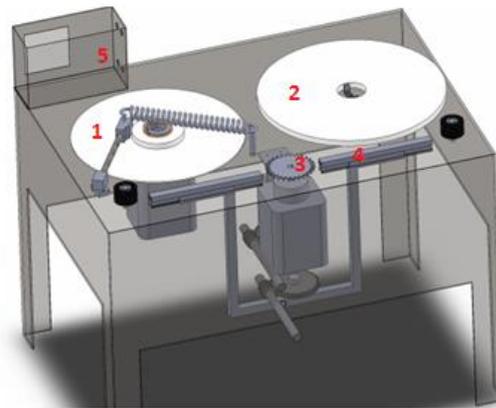
Una vez finalizada la automatización y control de la máquina se realizará las pruebas pertinentes considerando perturbaciones en los que pueda causar problemas en el corte de fillos de PVC.

1.6. Descripción del proceso de corte

La bobina de canto de 150 metros, es colocada en la máquina industrial cortadora de fillos de PVC, dando paso al inicio del proceso de corte.

Una vez ingresada la bobina en el plato portabobinas de materia prima, la máquina es puesta en modo de arranque, el operario ingresará el canto en el lecho formador activándose el primer sensor de presencia, este encenderá el cabezal de corte (sierra circular dentada), para que pueda activar el segundo sensor de presencia, es necesario que el operario empuje el canto manualmente realizando el corte de la punta de la bobina, hasta poder llegar al segundo plato portabobinas de materia elaborada, el operario guiará la punta del canto a través de una sección mecánica, una vez que el canto active el tercer sensor de presencia y el operario haya cerrado todas las compuertas de seguridad, la máquina debe ser puesta en modo automático de trabajo; el corte y el enrollamiento de la bobina es el proceso automático final.

Para más detalle revisar el anexo 4 (Manual de usuario).



1. Portabobinas principal
2. Portabobinas de arrastre
3. Sierra dentada
4. Guías de canto
5. HMI

Figura 2 Diseño de la máquina a construirse

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1. Materia prima

2.1.1. Bobinas de Canto o PVC

Las bobinas de PVC son de material termoplástico elaboradas a partir de un plástico denominado Policloruro de Vinilo. PVC es un material denso y con gran estabilidad dimensional que presenta una grande resistencia a la abrasión, a la luz UV, a los productos químicos y al impacto; proporciona un aspecto prolijo a armarios, gabinetes, mesas, particiones, paneles y demás muebles, superando a muchos otros materiales utilizados para proteger cantos. Véase Figura 3 (Camplast, 2015)

Una característica de los cantos PVC es que no son combustibles, o sea no alimentan la combustión y son 100% reciclables.

Los cantos de PVC se pueden elaborar en material fino o grueso, en múltiples colores y diseños, acabados de superficie y niveles de brillo. (Dalma, s.f.)



Figura 3 Bobinas de canto

Fuente: (Dalma, s.f.)

2.2. Sistemas mecánicos

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía. Se caracterizan por presentar piezas mecánicas, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza. (Lozano, 2015)

En la realización del diseño y construcción de la máquina cortadora de filamentos de PVC, los sistemas mecánicos cumplen un papel fundamental, debido a que varias piezas mecánicas conformarán el diseño de la máquina como muestra el diseño en el capítulo 3.

2.2.1. Engranajes

Es una rueda o cilindro dentado empleado para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte de una máquina a otra.

Un conjunto de dos o más engranajes que transmite el movimiento de un eje a otro se denomina tren de engranajes. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero usando engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa. (Lozano, 2015)

2.2.1.1. Tornillo sinfín

Es un mecanismo diseñado para transmitir grandes esfuerzos y como reductores de velocidad aumentando la potencia de transmisión. Generalmente trabajan en ejes que se cortan a 90° . Tiene la desventaja de no ser reversible en el sentido de giro, sobre todo en grandes relaciones de transmisión y de consumir en rozamiento una parte importante de la potencia. Este mecanismo si transmite grandes esfuerzos es necesario que esté muy bien lubricado para matizar los desgastes por fricción. (Engranajes, 2015)

2.2.1.2. Mecanismo de cremalleras

El mecanismo de cremallera aplicado a los engranajes lo constituye una barra con dientes la cual es considerada como un engranaje de diámetro infinito y un engranaje de diente recto de menor diámetro y sirve para transformar un movimiento de rotación del piñón en un movimiento lineal de la cremallera. Quizás la cremallera más conocida sea la que equipa los tornos para el desplazamiento del carro longitudinal. (Engranajes, 2015)

2.2.2. Sierra circular dentada

Las sierras circulares se fabrican siguiendo estándares internacionales, que permiten su identificación para ser utilizadas en diferentes tipos de máquina, según los materiales que pueden cortar, su velocidad de corte, de avance, etc.

Los dientes de sierra tienen forma de cuña. El filo de la punta del diente actúa como si fuera un hierro (o cuchilla) estrecho de cepillo de carpintero de modo que la cara de ataque del borde del diente corresponde al lomo del bisel de la cuchilla del cepillo. El dentado de una hoja de sierra representa pues una sucesión de múltiples hierros de cepillo. Por paso de los dientes (longitud entre dientes) se entiende la separación entre puntas de dientes. La parte más profunda del hueco entre los dientes se llama **fondo del diente**. Se designa altura del diente a la distancia vertical de la línea que pasa por las puntas del diente a la línea que pasa por el fondo de los dientes. El **entrediente** (hueco para virutas) es el espacio libre entre los dientes.

Las hojas de sierra se fabrican de distintos diámetros, según el tamaño o capacidad de las máquinas a que sean destinadas, y diferentes tipos de dientes, según el tipo de canto que se desee cortar Véase Figura 4.

Los tipos de hojas más comunes y de mayor aplicación son las de dientes triangulares o dientes de ratón, las de dientes normales, la de dientes puntiagudos, la de dientes de gancho o dientes de lobo y la de dientes R-S. (EcuRed, 2016)

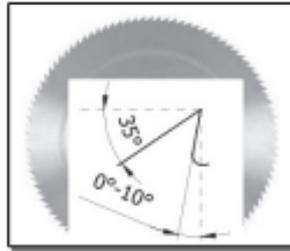


Figura 4. Sierra circular diente

Fuente: (EcuRed, 2016)

2.2.3. Tensores

Los tensores poseen una base ranurada para controlar el ajuste de la tensión y un brazo con superficie dentada de apriete que le permite tensionar en cualquier punto a 360°.

Los tensores resortados proporcionan tensión constante gracias a un resorte interno que los hace muy convenientes en cargas fluctuantes. El eje sobre el cual pivotea el brazo tensor, va sobre rodamientos para mayor estabilidad y resistencia.

Un piñón engrana con precisión en la cremallera cargada con el resorte permitiendo que el brazo bascule 90° en cualquier dirección Véase Figura 5. (INTERMEC S.A., 2016)



Figura 5. Tensor mecánico

Fuente: (INTERMEC S.A., 2016)

2.2.4. Motorreductores

Son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, en el que se necesite reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura.

Los Motorreductores se suministran normalmente acoplando al mecanismo reductor un motor eléctrico normalizado, cerrado y refrigerado por un autoventilado. Además, este motor suele incluir como protección, un guardamotor que limita su intensidad y un relé térmico de sobrecarga. (R&M, 2015)

Características generales del motorreductor

- Potencia, en HP, de entrada y de salida.
- Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.
- PAR (o torque), a la salida del mismo, en KG/m.
- Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

Las ventajas de usar motorreductor:

- Alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor.
- Alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos.
- Poco espacio para el mecanismo.
- Poco tiempo de instalación y mantenimiento.
- Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido.

2.3. Sistemas Eléctricos

2.3.1. Variador de velocidad



Figura 6. Variador de velocidad

Fuente: (Line, 2015)

Son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula de ardilla. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red. (Schneider Electric, 2015)

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

Etapas Rectificadora: Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

Etapas de filtrado: Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

Inversor: Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente,

sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretensiones, etc.

Etapa de control: Esta etapa controla los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores más empleados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa de filtro se usan condensadores y bobinas para disminuir los armónicos y mejorar el factor de potencia. (Schneider Electric, 2015)

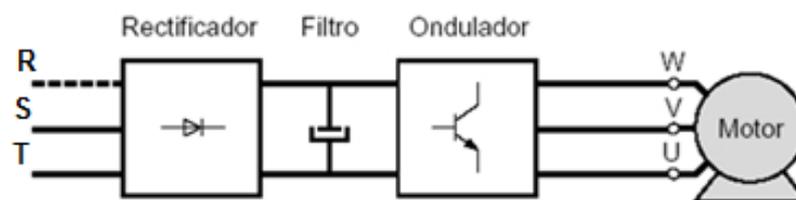


Figura 7. Esquema de principio de un variador de velocidad

Fuente: (Generadores, 2015)

Como muestra la Figura 8. se tiene el esquema de principio del variador, considerando que se puede realizar una conexión trifásica (R,S,T) o simplemente en la conexión de las fases (S,T).

2.3.2. Encoder



Figura 8. Encoder

Fuente: (Sparkfun, 2016)

Un encoder, también conocido como codificador o decodificador son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición. Los encoders están disponibles con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los ENCODERS INCREMENTABLES, que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición. El otro tipo son los ENCODERS ABSOLUTOS que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual. Los encoders pueden ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones. Actúan como transductores de retroalimentación para el control de la velocidad en motores, como sensores para medición, de corte y de posición. También como entrada para velocidad y controles de rango. (Sparkfun, 2016)

2.3.3. Sistema de Control

Sistema de control o subsistema es el conjunto de dispositivos que regulan el comportamiento de un sistema (o de sí mismo) para lograr un objetivo de control, véase en la Figura 10 y Figura 11. (Sistemas de control, Capítulo 2, version 2003, 2015)

El objetivo de un sistema de control ideal es garantizar la estabilidad y la robustez frente a perturbaciones.

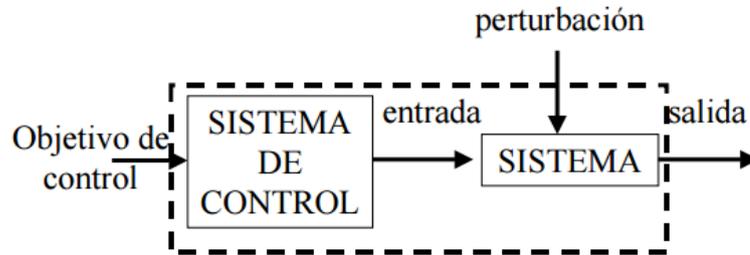


Figura 9. Diagrama de bloques de un sistema de control

Fuente: (Sistemas de control, Capítulo 2, versión 2003, 2015)

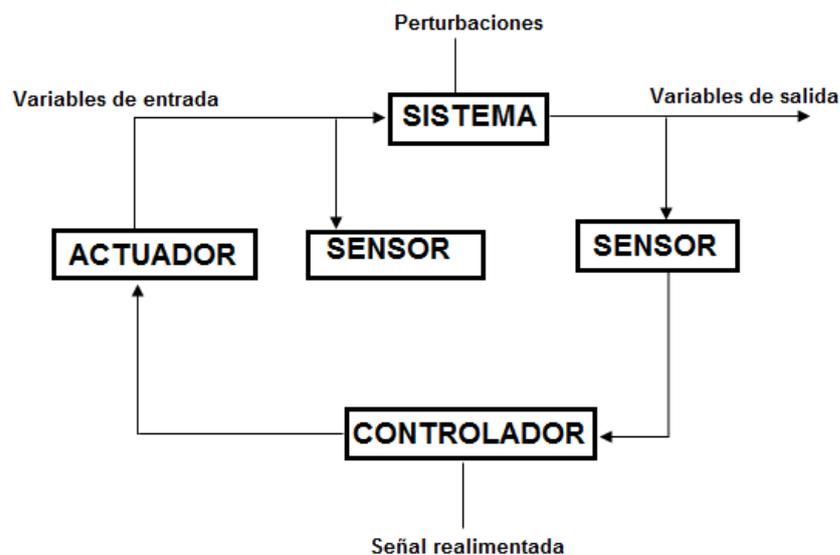


Figura 10. Esquema de sistema de control

Fuente: (Sistemas de control, Capítulo 2, versión 2003, 2015)

2.3.3.1. Acciones Básicas de Control

Se dice que un sistema está controlado cuando cumple con los parámetros básicos: estabilidad (M_p); exactitud (E_{ss}) y velocidad de respuesta (T_s).

La Figura 11 muestra un sistema de control automático general formado por un controlador, un actuador, una planta y un sensor. El controlador detecta la señal de error, el controlador amplifica la señal y la envía al actuador que

produce la entrada a la planta; la salida de la planta es medida por un sensor que transforma la señal y la envía al controlador para que pueda ser comparada con la señal de referencia (Catarina, 2016)

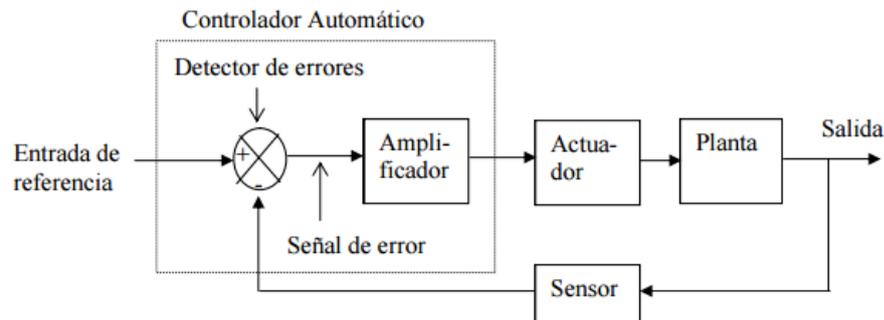


Figura 11. Diagrama de bloques de un control automático

Fuente: (Catarina, 2016)

2.3.3.2. Tipos de controles y modelos matemáticos

Acción de control Encendido – Apagado (On - Off)

Los controladores de éste tipo tienen dos posiciones estables, conmutando entre uno y otro según el valor de $E(s)$. Para evitar que el control conmute en forma descontrolada, la variable de control $m(s)$ cambiará de valor sólo cuando $E(s)$ presente valores fuera de un cierto intervalo, de esta manera se define como zona muerta ó brecha diferencial al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta véase Figura 12

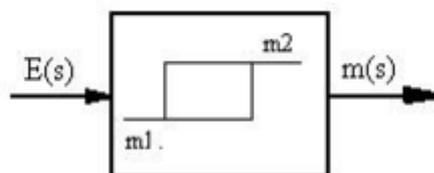


Figura 12. Diagrama de bloques de un control On-Off

Fuente: (Catarina, 2016)

Acción de Control Proporcional

En este tipo de control se establece una relación proporcional entre “m” y “e’”: $m(t) = k_p \cdot e(t)$.

$$\text{Transformando } \Rightarrow \quad m(s) = k_p \cdot E(s)$$

k_p = ganancia proporcional (constante ajustable). el controlador proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable, si expresamos los valores de “m” y “e’ en %, se tendrá para distintos valores de k.

Acción de Control Integral

La acción de control Integral se denomina control de reajuste (reset). En un controlador integral la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

donde K_i es una constante ajustable.

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $u(t)$ varía dos veces más rápido. Para un error de cero, el valor de $u(t)$ permanece estacionario.

Acción de Control Proporcional Integral

El control Proporcional Integral decrementa el tiempo de subida, incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización, y tiene el efecto de eliminar el error de estado estable pero empeorará la respuesta transiente. La acción de control Proporcional Integral se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

donde K_p es la ganancia proporcional y T_i se denomina tiempo integral.

El tiempo integral ajusta la acción del control, mientras que un cambio en el valor de K_p afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso del tiempo integral T_i se denomina velocidad de reajuste. La velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto. (Catarina, 2016)

Acción de Control Proporcional Derivativo

El control Proporcional Derivativo reduce el sobre impulso y el tiempo de estabilización, por lo cual tendrá el efecto de incrementar la estabilidad del sistema mejorando la respuesta del sistema. La relación de un controlador Proporcional Derivativo entre la salida $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ está dada por:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo Derivativo.

La acción de control Derivativo, en ocasiones llamada control de velocidad, ocurre donde la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. El tiempo Derivativo T_d es el intervalo de tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción proporcional. La acción de control Derivativo tiene un carácter de previsión. Sin embargo, es obvio que una acción de control Derivativo nunca prevé una acción que nunca ha ocurrido.

Aunque la acción de control Derivativo tiene la ventaja de ser de previsión, tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede provocar un efecto de saturación en el actuador.

Acción de Control Proporcional Integral Derivativo

La combinación de una acción de control Proporcional, una acción de control Integral y una acción de control Derivativo se denomina acción de control Proporcional Integral Derivativo. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

La Tabla 4. resume las características de los controles mencionados.

Tabla 4

Resumen Características de Acción de Control

Tipo de Control	Tiempo de subida	Sobre impulso	Tiempo de estabilización	Error en estado estable
Proporcional	Decrece	Crece	Cambio menor	Decrece
P. Integral	Decrece	Crece	Crece	Se elimina
P. Derivativa	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor

Fuente: (Catarina, 2016)

Las correlaciones de la tabla mostrada no son muy precisas, porque K_p , K_i y K_d son dependientes entre sí, por lo cual esta tabla sólo debe ser tomada como una referencia. La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ de la acción de control Proporcional Integral Derivativo está dada por:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo Derivativo.

2.3.4. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller PLC) es una máquina secuencial, operado digitalmente, usa una memoria para el

almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuencia, registro, control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos véase Figura 13. (Cataruña, 2016)



Figura 13: Controlador Lógico Programable

Fuente: (Cataruña, 2016)

2.3.5. HMI (interface hombre – máquina)

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz que permite la interacción entre un humano y una máquina, las cuales varían ampliamente, desde paneles de control para plantas nucleares hasta botones de entrada en un celular. Una interfaz hombre máquina es la que permite que el usuario u operador del sistema de control o supervisión, interactúe con el proceso véase Figura 14. (Siemens, 2016)

Dos componentes son necesarios en una interfaz humana máquina:

- Primero está la entrada, un usuario humano necesita de algún medio para decirle a la máquina que hacer, hacerle peticiones o ajustarla.
- Segundo la interfaz requiere de una salida, que le permita a la máquina mantener al usuario actualizado acerca del progreso de los procesos, o la ejecución de comandos en un espacio físico. Una adecuada interfaz humano – máquina busca, en primer lugar obtener el estado del proceso de un vistazo.
- Captar la situación en forma rápida.

- Crear condiciones para la toma de decisiones correctas.
- Que los equipos se utilicen en forma óptima y segura.
- Garantiza la confiabilidad al máximo.
- Cambiar con facilidad los niveles de actividades del operador.



Figura 14. HMI (Interfaz humano - máquina)

Fuente: (Siemens, 2016)

2.3.6. Sensores fotoeléctricos

Un sensor fotoeléctrico (también llamado óptico) es un dispositivo eléctrico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que “ve” la luz genera por el emisor. Están diseñados especialmente para la detección, ausencia, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales externas (polvo, temperatura, microorganismos, etc) véase Figura 15. (Rodríguez, 2012)

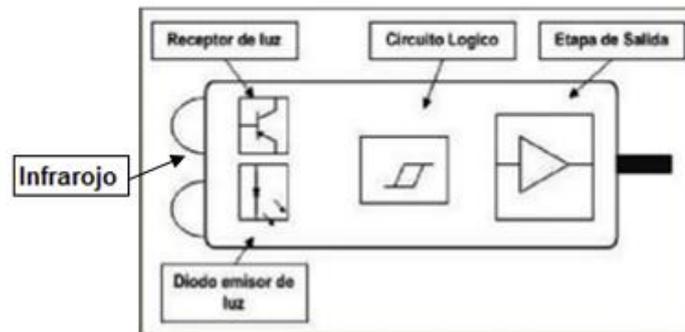


Figura 15. Diagrama de composición de un sensor fotoeléctrico

Fuente: (Rodríguez, 2012)

En la industria la fiabilidad es esencial, se utilizan sensores de lazo cerrado, es decir que utilizan un emisor y un receptor sincronizados.

Ventajas

- La luz es emitida a una frecuencia exacta (normalmente se usa luz infrarroja), y en ocasiones con una secuencia concreta, para que el receptor identifique en todo momento si la luz recibida pertenece a su emisor, evitando así que se active debido a influencias ambientales o interferencias con otros equipos.
- Se puede alcanzar una precisión sorprendente, colocando por ejemplo un emisor y un receptor enfrentados, con un sistema de lentes que obligue a los dos elementos que se encuentren perfectamente alineados, de modo que el haz de luz pueda ser interrumpido por un objeto muy pequeño.

Aplicaciones

- Detectar el paso de un producto.
- Controlar que la altura o la anchura de un producto sea la adecuada.
- Ajustar la distancia de un elemento móvil.
- Como final de carrera sin contacto.

2.3.7. Interruptor Termomagnético



Figura 16. Interruptor termo-magnético

Fuente: (López Adrian, 2015)

Un interruptor termo – magnético, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Los termo – magnéticos (Breaker) combinan varios de los sistemas de protección, en un solo aparato. Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. (López Adrian, 2015)

Los interruptores de protección termomagnéticos están equipados con mecanismos de disparo: la pieza dependiente de la temperatura del mecanismo está compuesta por un bimetálico con un arrollamiento de calefacción. Corrientes que superan la corriente nominal del módulo de protección, generan calor en el alambre caliente. El bimetálico se curva y reacciona sobre el mecanismo de conexión hasta que se desconecta. La reacción a corrientes de sobrecarga se retrasa.

El interruptor termomagnético protege principalmente a cables y conductores contra sobrecargas y cortocircuitos. Éstos también protegen al equipamiento eléctrico contra el sobrecalentamiento, de acuerdo a la norma DIN VDE 0100 Part 430. (SIEMENS, 2015)

Bajo ciertas condiciones, los termomagnéticos actúan contra peligrosos shocks de corriente causados por una excesiva tensión de contactos debida a una falla de aislamiento, de acuerdo con DIN VDE 0100 Part 410.

2.4. Sistemas de seguridad

Cuando la evaluación de riesgos muestra que una máquina lleva consigo un riesgo de lesión, el peligro debe ser eliminado. La manera en la cual se puede obtener esto dependerá de la naturaleza de la máquina y del peligro. Medidas protectoras en combinación con la guarda de protección evitan, ya sea el acceso al área peligrosa cuando sea posible su acceso. Ejemplos típicos de medidas de protección son guardas de enclavamiento, cortinas de luz, tapetes de seguridad, controles con las dos manos e interruptores de habilitación.

2.4.1. Paro de emergencia

Los dispositivos y sistemas de paro de emergencia están asociados a los sistemas de control relacionados con la seguridad pero no son sistemas de protección directos, sólo deben ser considerados como medidas de protección complementarias. No se consideran dispositivos de protección primaria porque no evitan ni detectan el acceso a un área peligrosa.

La manera usual de proporcionar un paro de emergencia es mediante un botón pulsador tipo hongo de color rojo sobre fondo amarillo que el operador presiona en caso de una emergencia. Deben estar colocados estratégicamente al alcance del operario.

2.4.2. Guardas fijas

Si el peligro es en la parte de la maquinaria que requiere acceso, debe fijar una guarda de tool galvanizado y acrílico fácil manipulación para descubrir y cubrir la maquinaria. Las guardas fijas deben poder:

- Resistir su entorno de operación.
- Contener acrílicos donde sea necesario
- No ocasionar peligros al operario, por ejemplo, con bordes filosos.

2.5. Señalización

La maquinaria estará dotada de una adecuada señalización del estado del funcionamiento, mediante señales luminosas. Así, será aconsejable que antes

de comenzar el ciclo de trabajo tras una parada se avise mediante una indicación luminosa.

2.6. Normativas

Las normativas usadas en el diseño y construcción de una máquina industrial cortadora de filamentos de PVC son las siguientes:

Tabla 5

Normativa

NORMA	ESPECIFICACIÓN
CPE INEN 005 PARTE 1:01	Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño.
CPE INEN 005 PARTE 8:86	Código ecuatoriano de la construcción. Protección contra incendios (parte I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII).
UNE-EN ISO 12100	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
RTE INEN 037:09	Diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero
NTE INEN 2042:2013	IR Plástico. Láminas acrílicas coladas. Requisitos.

Fuente: (INEN, 2016)

2.6.1. VDI 3239/40

Se trata de una serie de consideraciones funcionales básicas a partir de las cuales se deducirán los requisitos que han de cumplir los sistemas de tratamiento de datos y diseño del flujo de materiales para la automatización. (H. Baumgartner, 2010)

En consideraciones del flujo de materiales se utilizan los símbolos siguientes véase Figura 17.

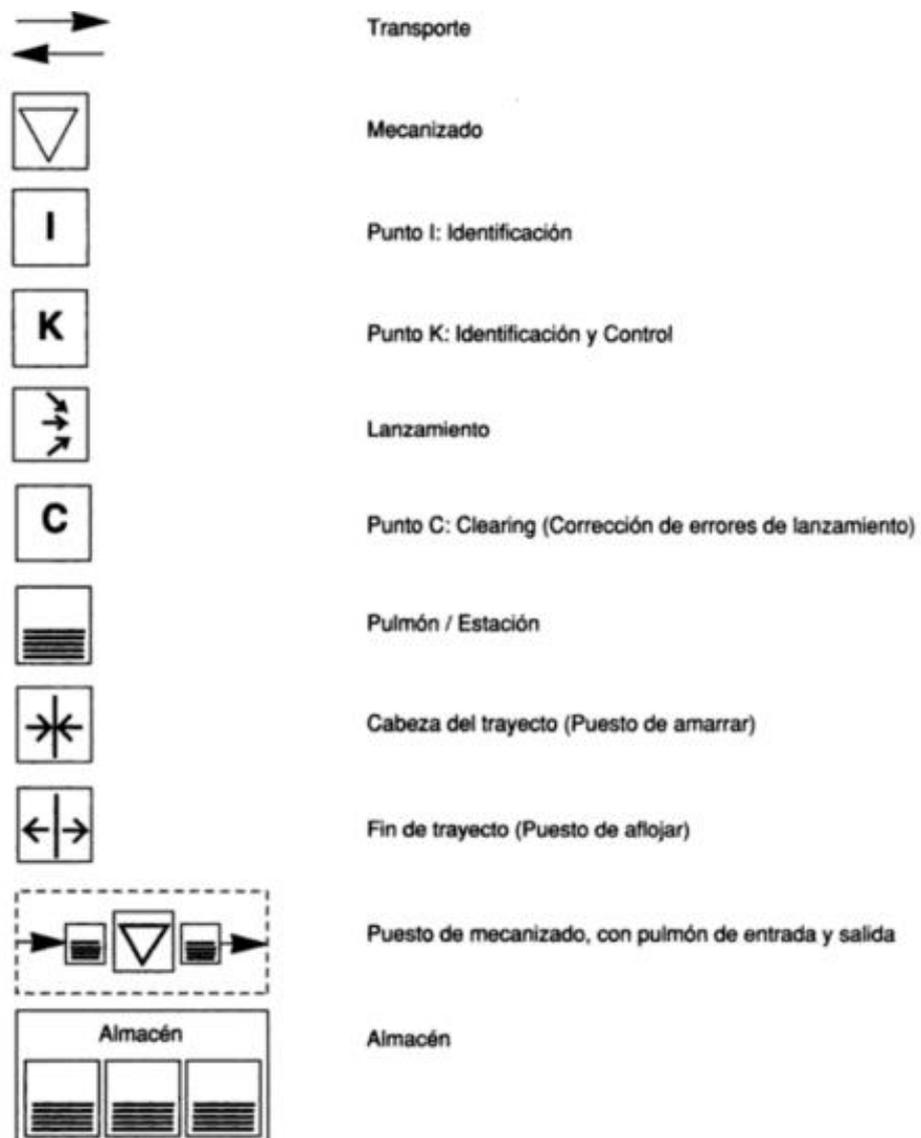


Figura 17. Símbolos utilizados en los gráficos de flujo de materiales

Fuente: (H. Baumgartner, 2010)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1. Diseño de Hardware

3.1.1. Diseño mecánico de la máquina cortadora de fillos de PVC

Para el diseño de la máquina cortadora de fillos de PVC se ha realizado el bosquejo de planos estructurales para cada pieza a construirse, siendo necesario la utilización del software de diseño asistido por computadora para moldeado mecánico en 3D (SolidWorks) véase Figura 18.

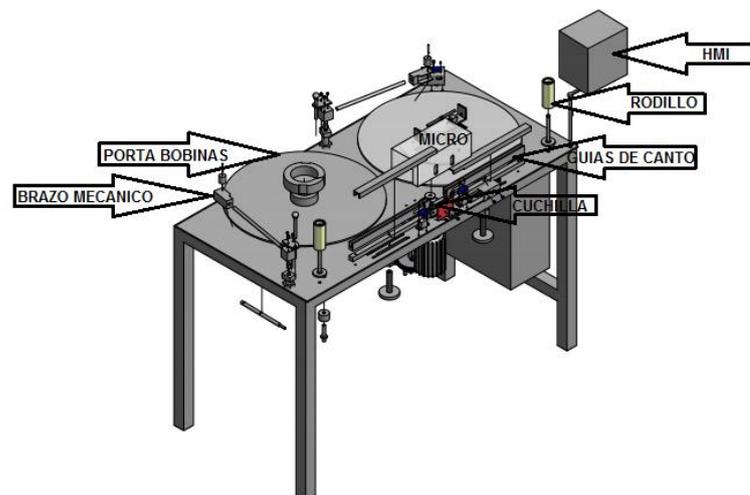


Figura 18. Diseño estructural de la máquina cortadora de fillos PVC

Como se puede observar en la Figura 19 muestra el despiece mecánico del diseño realizado en base a los requerimientos de la empresa EmFALU.

En el diseño se considera el tamaño de la estructura o cuerpo de la máquina de las siguientes medidas: altura: 1.00 metro, ancho: 0,68 metros y largo: 1.40 metros. Acorde a las medidas que vienen la materia prima.

Platos de bobinas

Como ya se habló anteriormente los platos de las bobinas son usados para la base de las bobinas de canto; es el lugar donde se soporta las bobinas en el proceso de corte véase Figura 19.

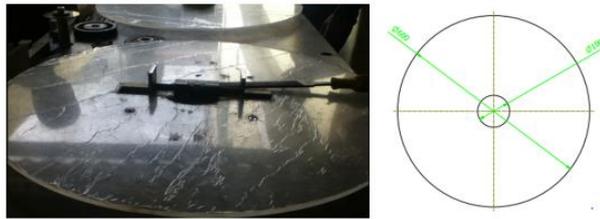


Figura 19. Portabobinas del canto sin corte

El diámetro interno del portabobina principal (20x60 cm), es variable debido a las guías móviles en forma de “L”, usado para el ajuste del diámetro interno de las bobinas, manteniéndola firme en el plato de bobinas véase Figura 20.



Figura 20. Portabobina del canto cortado

En el segundo portabobinas donde va ser enrollado el canto cortado, tiene un diámetro fijo de 10cm, en la corona es realizado un corte transversal como muestra el diseño para así poder ingresar la punta de la bobina, se mantenga sujeta y no se zafe en el proceso.

Guías

Las guías o regletas realizadas son usadas para el recorrido del canto, y así el canto no pueda salir de su ruta de proceso y poder obtener un corte exacto; además se tiene un sistema elevador de las guías, que permite ascender o descender según la medida de corte que el operador desee realizar véase Figura 21.

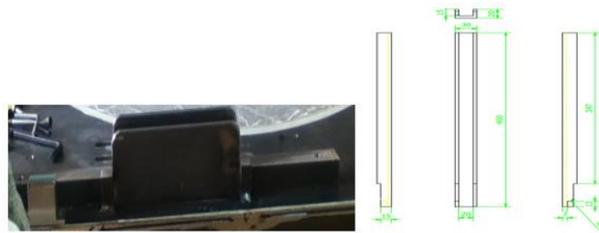


Figura 21. Guías

Brazo de freno mecánico:

Sirven como tensor del brazo mecánico o freno mecánico, utilizados en la detención o como su nombre lo dice freno para que la bobina no se desenrolle y se pueda realizar un proceso correcto véase Figura 22.



Figura 22. Freno mecánico

Reglas:

Usadas para la regulación de la medida que el operario requiera cortar el canto, la cual está desde (1 mm a 25mm). Ubicadas en la compuerta de seguridad para tener la exactitud al regular la cuchilla a la medida requerida véase Figura 23.



Figura 23. Reglas

Elección de la cuchilla

La sierra seleccionada es una hoja adecuada para un corte transversal de aserrado de plástico, enchapado de canto, disco con diente a bisel y ángulo

de ataque a 10° se utilizan para corte transversal de madera, para torque de 200 a 400 g véase Tabla 6.

Tabla 6
Ángulo de ataque

Recomendaciones para la elección correcta del ángulo de corte	
Operación y material	Ángulo de ataque
Incisor y preaserrado de chapas encoladas, corte transversal en máquinas de movimiento pendular o paralelo.	-2°
Estratificados, encolados simples, plásticos duros.	5°
Corte transversal de madera, aserrado de placas de fibra.	10°
Madera prensada, aglomerado, contraenchapados, estratificados, encolados, yesos y similares, así como plástico relativamente duros.	10°
Corte longitudinal de madera seca, corte transversal de maderas muy blandas, aserrado de plásticos blandos	20°
Corte longitudinal de madera en bruto, especialmente canteado	25°

Fuente: (EcuRed, 2016)

Hay que considerar si se corta en sentido contrario a los dientes, conviene utilizar una velocidad de avance elevada y un disco que tenga gran número de dientes.

Tabla 7

Límite máximo de la velocidad de la cuchilla

D	Velocidades de corte recomendadas								
	RPM								
mm	1500	2000	2800	3500	4500	6000	8000	10000	12000
100							42	53	63
150						47	63	79	94
200					47	63	84	105	
250				46	59	79	105		
300			44	55	71	94			
350			51	64	82	110			
400		42	59	73	94				
450		47	66	82	106				
500	40	52	73	92					
550	43	58	81	101					

Fuente: (EcuRed, 2016)

3.1.2. Diseño eléctrico de la máquina cortadora de fillos de PVC

Para el diseño de la máquina cortadora de fillos de PVC se ha realizado los cálculos de los componentes eléctricos como son: tablero de distribución, motor de cuchilla, motor de arrastre los cuales se usarán para realizar el proceso de corte, como muestra los planos en el Anexo 1.

3.1.2.1. Diseño tablero eléctrico de control

Para la determinación del tamaño del tablero eléctrico se ha previsto el diseño con la distribución de cada elemento que conformará el tablero de distribución.

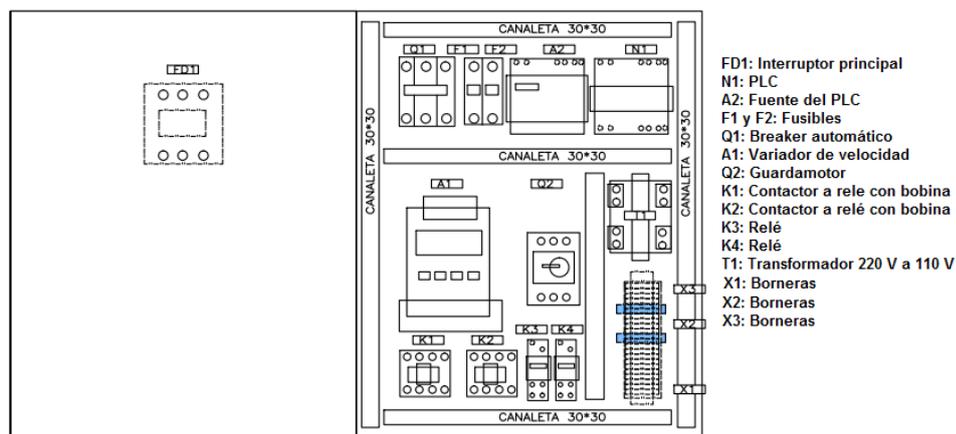


Figura 24. Elementos que componen el tablero de control

Para la elección de los elementos que serán ubicados en el tablero según el diseño de la máquina cortadora de fillos PVC tenemos los siguientes:

Interruptor principal: Energiza al tablero, es necesario la instalación de un interruptor que se encuentre visible al operador y sea claro su accionamiento.

Fusibles automáticos: Disyuntores electromagnéticos, elegidos debido al sistema que hace “saltar” un interruptor cuando la corriente que circula por él es mayor a la corriente de trabajo.

Breaker automático: Interruptor automático magnetotérmico modular en carril DIN protegen las instalaciones de sobrecargas y cortocircuitos, garantizando fiabilidad y seguridad para las operaciones.

Guardamotor: Interruptor magnetotérmico, diseñado para la protección de motores eléctricos, proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobrintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores, el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores.

Contactor: Componente electromagnético que tiene por objetivo interrumpir el paso de corriente, al motor, tan pronto se dé tensión a la bobina.

Relé de señal: Usado para el paso de señal, detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac que actúa de interruptor de potencia. Este relé permite una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.

Transformador: Usado para el cambio de tensión de 220 V a 110 V, para energización del PLC.

Fuente del PLC: Alimentación del CPU del PLC S7-1200

Variador de velocidad: Soporta tensión de 220 V, a 60 Hz para carga trifásica, ingreso de datos del motor a controlar sencillo, usado para controlar la velocidad de arranque suave y obtener una rampa de aceleración en su punto máximo.

PLC S7- 1200: Para realizar la automatización de la máquina cortadora de filos PVC, existen varios elementos para hacer un proceso automático como son los microprocesadores, microcontroladores o controlador lógico programable (PLC) es una clase de computadora diseñada específicamente para aplicaciones industriales en este caso se ha previsto usar un PLC ya que los microprocesadores es tecnología antigua, microcontrolador posee un rango limitante en su programación al contrario de usar un PLC son adaptados para un amplio rango en tareas de automatización, proporciona a través de la programación el control de variables de entrada y salida, es amigable con el programador, abre campo en la automatización.

3.1.2.2. Cálculo del motor

Para realizar los cálculos del motor de la cuchilla y el motor de arrastre, lo primero que se debe saber es la frecuencia del motor de la cuchilla y el motor de arrastre para poder obtener las revoluciones de nuestros motores, la frecuencia en Ecuador se trabaja a 60 Hz, sus polos serán de 2 debido a su conexión ya que serán entrada – salida, salida – entrada.

Para el cálculo de las revoluciones:

$$n = \frac{60 * f}{P}$$

Donde:

f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)

P: Número de pares de polos que tiene la máquina

n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

$$n = \frac{60 * 60}{2}$$

$$n = 1800 \text{ RPM}$$

Nuestro giro en revoluciones de los motores de la cuchilla y de arrastre serán de 1800 RPM, con respecto a la conexión que los motores tendrán.

Para poder obtener la potencia eléctrica, mecánica y la eficiencia del motor se utiliza la Tabla 13.

En cortas palabras, un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje. La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi$$

donde P: Potencia en kW

V: Voltaje o tensión en voltios

I: corriente en amperios

Cos φ = Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P = T * n / 9550$$

donde P= Potencia en kW

T: torque en Nm. El torque es la capacidad de hacer girar cargas.

n= velocidad en rpm.

La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. La eficiencia o rendimiento es una medida de qué tanto desperdicia una máquina.

La eficiencia se calcula según la siguiente relación

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

donde: P_s es la potencia de salida, en este caso potencia en el eje.

P_e es la potencia de entrada, en este caso potencia eléctrica.

Tabla 8

Tablas potencias nominales de motores trifásicos

KW	HP	220 V. I [A]	380 V. I [A]	660 V. I [A]
0,18	0,25	0,6	0,3	0,2
0,37	0,5	1,2	0,7	0,4
0,55	0,75	1,8	1	0,6
0,74	1	2,4	1,4	0,8
1,1	1,5	3,6	2,1	1,2
1,5	2	4,8	2,8	1,6
2,2	3	7,3	4,2	2,4
2,9	4	9,7	5,6	3,2
4	5,5	13,3	7,7	4,4
5,5	7,5	18,1	10,5	6
7,4	10	24,2	14	8,1
11	15	36,3	21	12,1
13,6	18,5	44,7	25,9	14,9
14,7	20	48,3	28	16,1
18,4	25	60,4	35	20,1
22,1	30	72,5	42	24,2
25	34	82,2	47,6	27,4
29,4	40	96,7	56	32,2
44,2	60	145	84	48,3
55,2	75	181,3	105	60,4

Fuente: (WEG, 2016)

Motor de la cuchilla

Se escoge un motor con potencia de ½ Hp, según la RPM encontrado

donde: $P_{\text{motor}}=0.5 \text{ Hp} \rightarrow 0,37285\text{kW}$

$$0,37285 = \sqrt{3} * 220 * I * \text{Cos}(0.79)$$

$$I = 0,98 \text{ A}$$

Se escoge un motor de 0.5 HP, con un voltaje de 220 V, 0.98 A

Motor de arrastre

Se escoge un motor con potencia de ½ Hp, según la RPM encontrado

donde: $P_{\text{motor}}=0.5 \text{ Hp} \rightarrow 0,37285\text{kW}$

$$P = \sqrt{3} * 220 * I * \text{Cos}(0.70)$$

$$0,37285 = \sqrt{3} * 220 * I * \text{Cos}(0.70)$$

$$I = 0,98 \text{ A}$$

Motor de arrastre

Se escoge un motor de 0.5 HP, con un voltaje de 220 V, 0.98 A

$$Par(kgm) = \frac{\text{Potencia HPX716}}{\text{Velocidad del giro RPM}}$$

$$T = \frac{HPX716}{RPM}$$

$$T = \frac{0,5 * 716}{1800}$$

$$T = 0,2 \text{ kgm} \rightarrow 1.961 \text{ Nm}$$

Tenemos que el motor puede realizar la fuerza de 200 g en el extremo de un brazo de 1 metro, el cual es necesario debido al material del canto que necesita la fuerza de arrastre según la elección de la cuchilla.

Potencia mecánica

$$P = \frac{1,961 * 1800}{9550}$$

$$P = 0.3696kW$$

Eficiencia del motor

$$\eta = \frac{0.3696}{0.37285} * 100\%$$

$$\eta = 99\%$$

De esta forma, entre mayor eficiencia, menor desperdicio y consecuentemente menores costos de operación. Contrariamente, entre menor eficiencia, mayor desperdicio y mayores costos.

Se selecciona los motores tipo jaula de ardilla, es el más común y de uso más generalizado por diversas razones:

- Bajo costo
- Bajo mantenimiento
- Fácil de adquirir
- Alto grado de protección
- Pocos componentes
- Robusto

Por carecer de chispas internas, puede instalarse en ambientes de riesgo, con el avance de la electrónica de potencia, hoy en día es el motor más práctico para realizar aplicaciones en donde se requiere variación de velocidad, llegando incluso a desplazar el motor de corriente continua.

IP (INTERNAL PROTECTION), determina el grado de protección (mecánico) o de encerramiento del motor. Viene seguido de dos cifras características; la primera de ellas indica la protección contra el ingreso de cuerpos sólidos y la segunda indica la protección contra el ingreso de líquidos, los motores dependiendo del ambiente a instalarse tienen los diferentes tipos de protección como muestra en la Figura 25.

Los motores elegidos cumplen con la protección IP55: los cuales están protegidos completamente contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorros de agua en todas las direcciones.

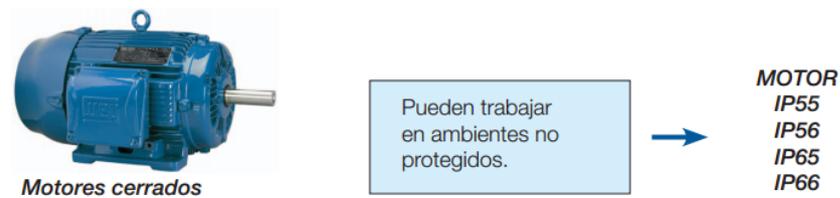


Figura 25. Grado de protección del motor de la cuchilla y motor de arrastre

3.1.2.3. Cálculo de protecciones

Considerando los valores calculados del motor

donde: $V=220AC$

$P_{motor}=0.5 \text{ Hp}=373w =0,37285Kw$

$f_p=0.7$

$n= 0,9$

Cálculo de la Corriente Nominal

Sabiendo que: I_n = Corriente nominal o a plena carga

P = Potencia del motor en W

f_p = factor de potencia

V = Voltaje nominal a la que se conecta el motor

n = eficiencia del nominal

I_p = Corriente pico de motor

Se aplica la fórmula:

$$I_n[A] = \frac{P[W]}{\sqrt{3} * V * fp * n}$$

$$I_n[A] = \frac{373}{\sqrt{3} * 220 * 0.7 * 0.9}$$

$$I_n[A] = 1.55$$

Protección termomagnético

La corriente nominal del motor calculada fue de 1.22A, para conocer la corriente de arranque del motor y definir la protección se utilizará la siguiente fórmula de acuerdo al código de la norma NEMA que para el motor actual corresponde a la categoría F cuyo valor es de 5 – 5,6

$$I_{arr} = I_n * 5.6$$

$$I_{arr} = 1.22 * 5.6$$

$$I_{arr} = 6.87 A$$

Se ha elegido un breaker de dos polos de 10A (amperios) para la protección de la conexión del motor trifásico.

Protección Guardamotor

Este dispositivo protege tanto de sobre corrientes como de cortocircuitos por lo que se lo utilizará como elemento principal de protección en el circuito de potencia.

donde:

$$I_n = 1,22A$$

sabiendo: I_n = Corriente nominal

I_g = Corriente del guarda motor

Se aplica la fórmula : $I_g = 115\% * I_n$

$$I_g = 1.15 * 1.22$$

$$I_g = 1.4 A$$

Debido a que es una máquina industrial, se ha elegido un guardamotor de 4.5-6.3A

Cable para la conexión de los motores

De acuerdo a los datos obtenidos de corriente nominal del motor, con respecto a la Tabla 14. se utilizará Cable 12AWG dedicada a la alimentación del motor tomando en cuenta el sobre pico que posee el motor al arrancar, adicionalmente se puede considerar como un estándar de facto el uso de dicho calibre del conductor en este tipo de instalaciones.

Tabla 9.

Elección de conductores AWG

Código AWG	Díametro del conductor (mm)	Ohmios por kilómetro	Amperaje máximo para distancias cortas	Amperaje máximo para distancias largas
0000	11.684	0.16072	380	302
000	10.40384	0.202704	328	239
00	9.26592	0.255512	283	190
0	8.25246	0.322424	245	150
1	7.34822	0.406392	211	119
2	6.54304	0.512664	181	94
3	5.82676	0.64616	158	75
4	5.18922	0.81508	135	60
5	4.62026	1.027624	118	47
6	4.1148	1.295928	101	37
7	3.66522	1.634096	89	30
8	3.2639	2.060496	73	24
9	2.90576	2.598088	64	19
10	2.58826	3.276392	55	15
11	2.30378	4.1328	47	12
12	2.05232	5.20864	41	9.3
13	1.8288	6.56984	35	7.4
14	1.62814	8.282	32	5.9
15	1.45034	10.44352	28	4.7
16	1.29032	13.17248	22	3.7
17	1.15062	16.60992	19	2.9
18	1.02362	20.9428	16	2.3
19	0.91186	26.40728	14	1.8
20	0.8128	33.292	11	1.5
21	0.7239	41.984	9	1.2
22	0.64516	52.9392	7	0.92
23	0.57404	66.7808	4.7	0.729
24	0.51054	84.1976	3.5	0.577
25	0.45466	106.1736	2.7	0.457
26	0.40386	133.8568	2.2	0.361
27	0.36068	168.8216	1.7	0.288
28	0.32004	212.872	1.4	0.226
29	0.28702	268.4024	1.2	0.182
30	0.254	338.496	0.86	0.142
31	0.22606	426.728	0.7	0.113
32	0.2032	538.248	0.53	0.091

Fuente: (Asterion, 2016)

3.1.2.4. Cálculo de potencia de la máquina cortadora de filos

Para el cálculo de la potencia del consumo energético nos ayudamos con la siguiente tabla.

Tabla 10

Valores de potencia

De	Multiplique por	Para obtener
cv	0.736	kW
kW	1.341	HP
HP	0.746	kW

Fuente: (WEG, 2016)

Según la placa del motor se tiene que la eficiencia del motor de la cuchilla es lo siguiente:

$$\eta = 84,5\%$$

$$0,5 \text{ HP} * 0,745 = 0,37 \text{ kW}$$

$$P \left(\frac{\text{kW}}{\text{h}} \right) = \frac{0,37}{0,845} = 0,43 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$$

Según la placa del motor se tiene que la eficiencia del motor de arrastre es lo siguiente:

$$\eta = 85,9\%$$

$$0,5 \text{ HP} * 0,745 = 0,37 \text{ kW}$$

$$P \left(\frac{\text{kW}}{\text{h}} \right) = \frac{0,37}{0,859} = 0,44 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$$

$$P = 0,43 \frac{\text{kW}}{\text{h}} + 0,44 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$$

$$P = 0,87 \text{ kW/h}$$

3.2. Diseño del software

3.2.1. Diseño electrónico de la máquina cortadora de fillos de PVC

Con la finalidad de comprender el comportamiento de las variables del proceso de corte se ha realizado una simulación usando el software LabVIEW, que nos permite unir la parte mecánica, eléctrica y electrónica. La simulación de motores, sensores, paro emergente, temperatura de la cuchilla, velocidad giro del motor véase Figura 26.

La simulación considera los siguientes puntos:

1. Para iniciar la simulación en el software LabView, se manda a correr la programación y así da paso a la ventana gráfica como muestra a continuación:
2. Una vez iniciado el programa se presiona el botón arranque para poder ingresar los metros que se desea cortar el filo, teniendo en cuenta que el sensor de presencia detectará si existe o no una bobina por cortar en el primer portabobinas, además que las protecciones de seguridad se encuentren activas, y de paso activar el botón automático. Considerando que se simula el senso de la temperatura de los motores ya que si existe un sobrecalentamiento las protecciones se activarán y detendrá al motor de cuchilla o motor de arrastre.

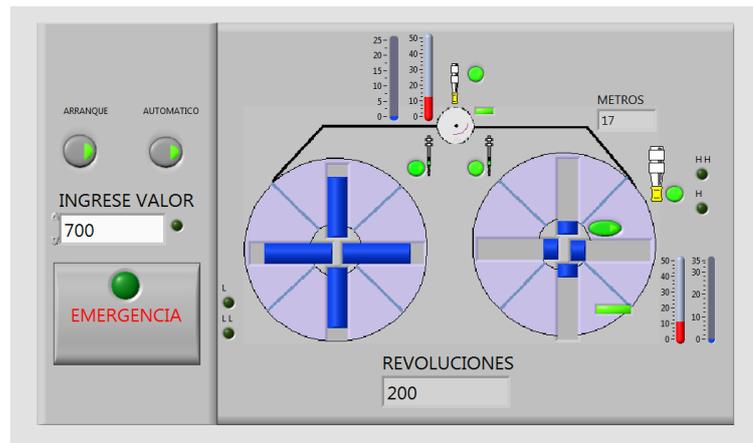


Figura 26. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 1

3. Se ingresa el valor de metros que se requiere cortar y se presiona el boton de automático, y así poder realizar el corte automáticamente, como se muestra en la simulación el rollo inicia su corte y en el segundo portabobinas muestra que el canto cortado empieza a envolverse automáticamente véase Figura 27.

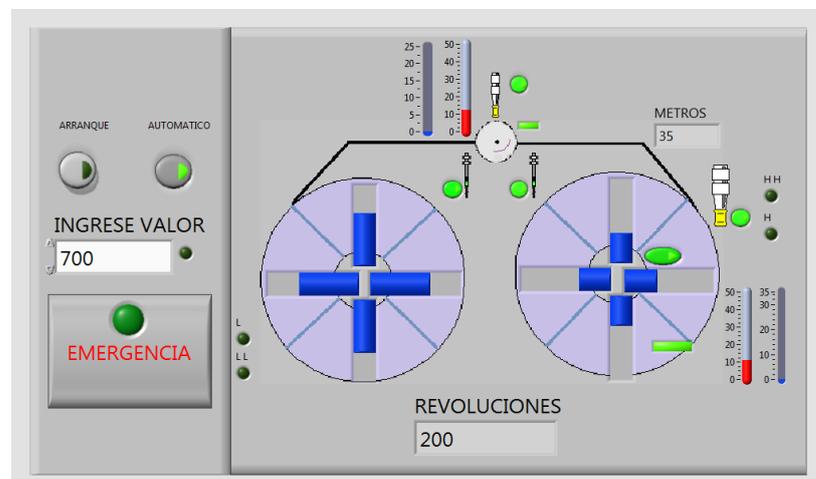


Figura 27. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 2

4. Se puede mostrar que el sensor enciende su indicador y se pone de color rojo como muestra la Figura 30. el cual quiere decir que se sobrecalento el motor de la cuchilla y automáticamente se detiene hasta que se enfria y vuelve ha realizar el proceso; otra situación por la que se enciende o detiene el proceso de corte es porque el micro de

seguridad se desactivo el cual es un riesgo al operario ya que la cuchilla esta descubierta y puede ocasionar un corte véase Figura 28.

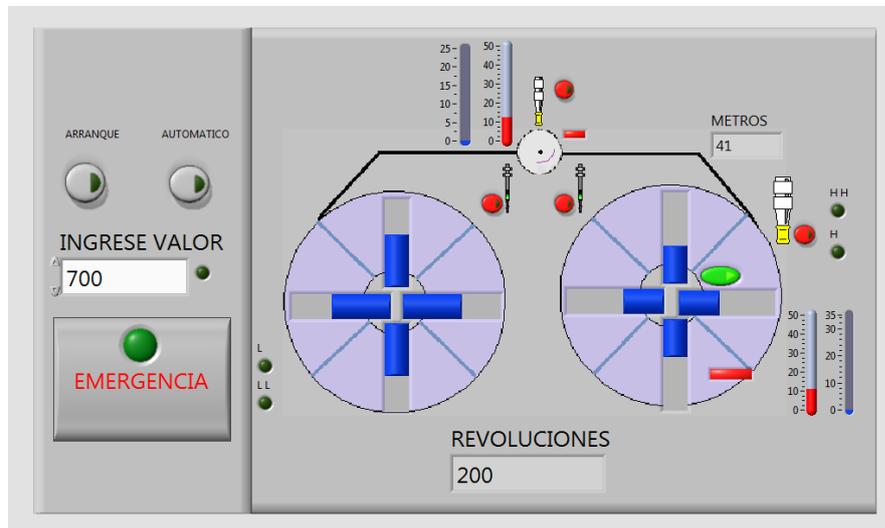


Figura 28. Ventana animada simulación del proceso electrónico parte 3

5. A continuación se presenta la programación realizada en LabVIEW mostrando las dos fases de operación la de arranque y el proceso automático ingresando a sus respectivas rutinas y comparaciones para que la simulación sea correcta véase Figura 29 .

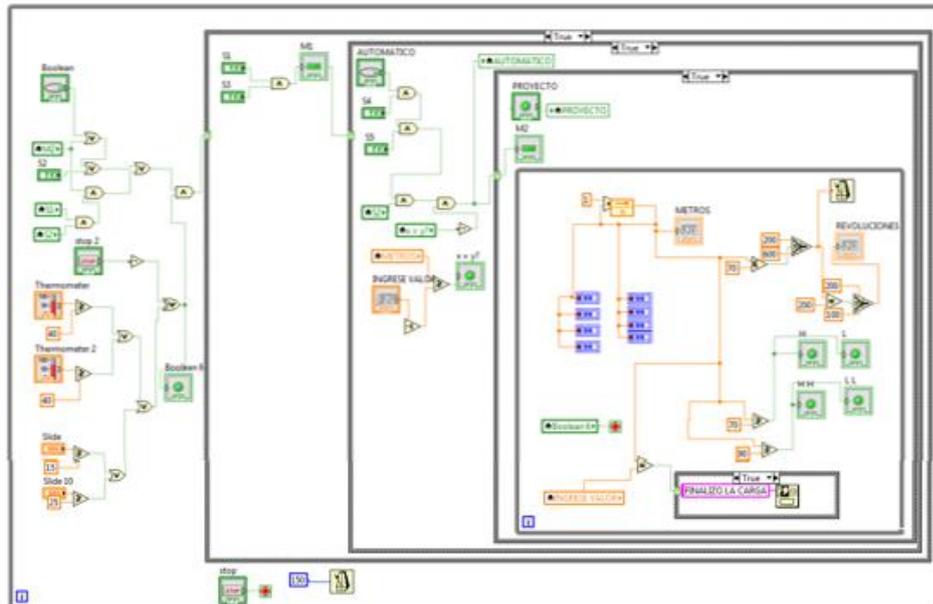


Figura 29. Ventana de programación

A través del software LabView se simula el proceso electrónico que se requiere llegar a obtener en la construcción de la máquina cortadora de fillos de PVC.

3.2.2. Diseño del control automático

Para el diseño de la máquina cortadora de fillos de PVC se realiza el diseño del funcionamiento automatizado requerido por la empresa EmFALU, para ello es necesario la utilización del software MATLAB para el modelamiento PI, el software de programación del PLC Siemens 1200 CPU 1212 AC (TIA Portal), y de la misma manera para el panel de control KTP 300.

3.2.2.1. Diseño del control de velocidad

Para controlar la velocidad del corte de la máquina cortadora de fillos de PVC, se opta por el desarrollo del controlador para detectar y corregir errores producidos al comparar el valor de referencia Set point con el valor del parámetro medido del sistema, en otras palabras manipula de tal manera los valores que se obtienen en la entrada para obtener un valor específico en la salida del sistema, haciendo nulo el error de posición a través de un regulador que usa una técnica PI (Control Proporcional, Integral)

Existen programas que permiten ofrecer un punto de partida para el diseñador a partir del cual si se desea se puede afinar el controlador, de manera general su trabajo es útil, en este caso se optó como considerar la herramienta de Matlab “pidtool”.

Para ello es necesario la toma de datos del encoder en función del tiempo teniendo como entrada una rampa unitaria para la velocidad, así poder obtener nuestra función de transferencia con respecto a la velocidad y el tiempo.

Para el control de velocidad el error en estado estacionario, se produce cuando se tiene como entrada una rampa, que presenta o tiene como valor de sistema 1. Para el análisis se realiza en lazo abierto véase Figura 30.

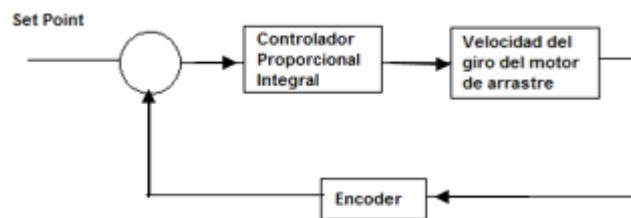


Figura 30. Diagrama de bloques del sistema

Modelamiento

Una vez definidas las variables a controlar, tanto la variable de entrada (Set Point)

Tabla 11

Datos tomados del encoder

Tiempo	Rampa	Encoder
4	0,28571429	1071,42857
8	0,59142857	2142,85714
12	0,89714286	3214,28571
16	1,16285714	4285,71429
20	1,52857143	5357,14286
24	1,81428571	6428,57143
28	2,05	7500
32	2,48571429	8571,42857

36	2,57142857	9642,85714
40	2,95714286	10714,2857
44	3,34285714	11785,7143
48	3,42857143	12857,1429
52	3,51428571	13928,5714
56	4,09827	15000
60	4,38571429	16071,4286
64	4,67142857	17142,8571
68	4,89142857	18214,2857
72	5,31285714	19285,7143
76	5,42857143	20357,1429
80	5,61428571	21428,5714
84	6,111102	22500
88	6,28571429	23571,4286
92	6,47142857	24642,8571
96	6,8142857	25714,2857
100	6,995714	26785,7143
104	7,32857143	27857,1429
108	7,71428571	28928,5714
112	8,0327712	30000
116	8,38571429	31071,4286
120	8,57142857	32142,8571
124	8,75714286	33214,2857
128	9,27285714	34285,7143
132	9,42857143	35357,1429
136	9,91428571	36428,5714
140	10,002	37500
144	10,2857143	38571,4286
148	10,6714286	39642,8571
152	10,4714286	40714,2857
156	11,5428571	41785,7143
160	11,4285714	42857,1429
164	11,7142857	43928,5714
168	12,294	45000
172	12,0857143	46071,4286
176	12,2371429	47142,8571
180	12,5571429	48214,2857
184	13,5428571	49285,7143
188	13,6285714	50357,1429
192	13,8328571	51428,5714
196	14,102	52500
200	14,2857143	53571,4286
204	14,4571429	54642,8571

208	14,6571	55714,2857
212	15,1428571	56785,7143
216	15,6285714	57857,1429
220	15,8142857	58928,5714
224	16,02	60000
228	16,2857143	61071,4286
232	16,5714286	62142,8571
236	16,8571429	63214,2857
240	17,1428571	64285,7143
244	17,4285714	65357,1429
248	17,7142857	66428,5714
252	18	67500
256	18,2857143	68571,4286
260	18,5714286	69642,8571
264	18,8571429	70714,2857
268	19,1428571	71785,7143
272	19,6285714	72857,1429
276	19,7142857	73928,5714
280	20,98	75000
284	20,5857143	76071,4286
288	20,5714286	77142,8571
292	20,8571429	78214,2857
296	21,1428571	79285,7143
300	21,4285714	80357,1429
304	21,7142857	81428,5714
308	22,012749	82500
312	22,4857143	83571,4286
316	22,5714286	84642,8571
320	22,8571429	85714,2857
324	23,6285714	86785,7143
328	23,4285714	87857,1429
332	23,7142857	88928,5714
336	24,31	90000
340	24,2857143	91071,4286
344	24,5714286	92142,8571
348	24,8571429	93214,2857
352	25,3428571	94285,7143
356	25,4285714	95357,1429
360	25,7142857	96428,5714
364	26,01383	97500
368	26,4857143	98571,4286
372	25,9714286	99642,8571
376	26,8571429	100714,286

380	27,1428571	101785,714
384	27,5285714	102857,143
388	27,9142857	103928,571
392	28,46612	105000
396	28,2857143	106071,429
400	28,5714286	107142,857
404	28,8571429	108214,286
408	29,3428571	109285,714
412	29,4285714	110357,143
416	29,7142857	111428,571
420	30	112500
424	30,3857143	113571,429
428	30,7142857	114642,857
432	30,8571429	115714,286
436	31,3428571	116785,714
440	31,4285714	117857,143
444	31,9142857	118928,571
448	32,00002	120000
452	32,4857143	121071,429
456	32,5714286	122142,857
460	32,8571429	123214,286
464	33,1428571	124285,714
468	33,4285714	125357,143
472	33,9142857	126428,571
476	34,683	127500
480	34,2857143	128571,429
484	34,5714286	129642,857
488	34,8571429	130714,286
492	35,1428571	131785,714
496	35,4285714	132857,143
500	35,9142857	133928,571
504	35,933339	135000
508	36,3857143	136071,429
512	36,5714286	137142,857
516	36,8571429	138214,286
520	37,1428571	139285,714
524	37,4285714	140357,143
528	37,7142857	141428,571
532	38,4212344	142500
536	38,2857143	143571,429
540	38,5714286	144642,857
544	38,9571429	145714,286
548	38,1428571	146785,714

552	39,4285714	147857,143
556	39,7142857	148928,571
560	40,101023	150000

Se ingresa los valores adquiridos en la herramienta Ident del software de Matlab véase Figura 31.

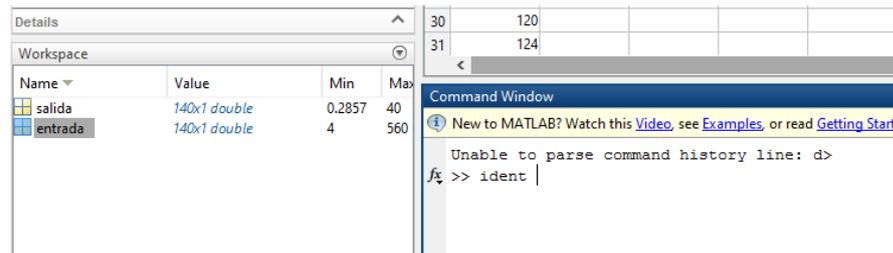


Figura 31. Ingreso de datos de entrada y salida

Ingresa los datos en el dominio del tiempo, empieza el intervalo en cero y el tiempo de muestreo en 1, véase Figura 32.

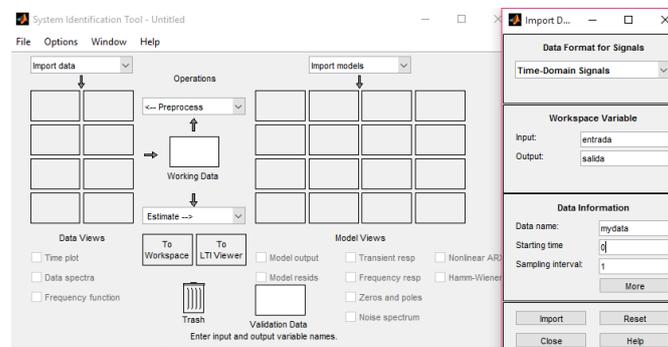


Figura 32. Importación de datos

Realiza el proceso del modelamiento automática dando los valores de la planta para la función de transferencia como muestra la Figura 33. y Figura 348.

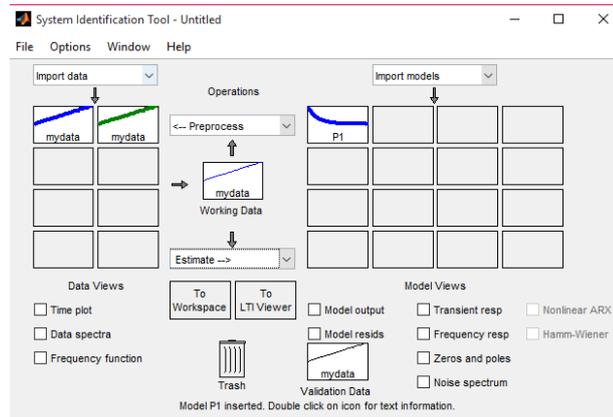


Figura 33. Modelamiento de la planta

Con el mismo procedimiento anterior se tiene el modelamiento:

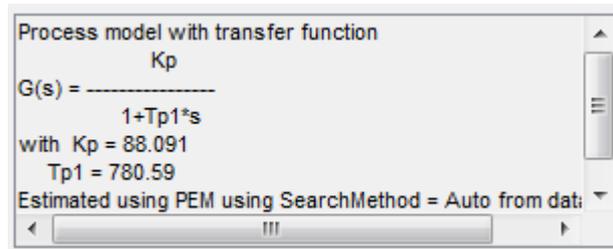


Figura 34. Importación datos PID

$$G(s) = \frac{88.091}{1 + 780.59s}$$

Diagrama del sistema del controlador

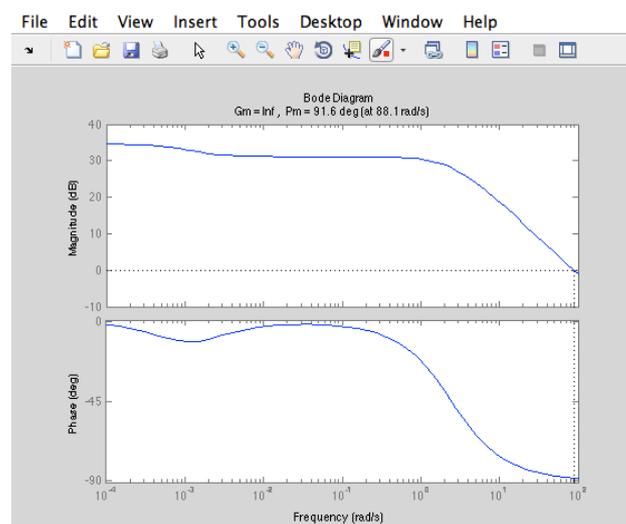


Figura 35. Características del sistema

En la Figura 35. muestra la determinación de los polos y ceros según la función de transferencia obtenida en el modelamiento, se grafica los polos y ceros, observando la respuesta temporal que se obtendrá en el diseño de control Proporcional Integral por la ubicación se espera obtener un “Sistema Estable Oscilatorio”

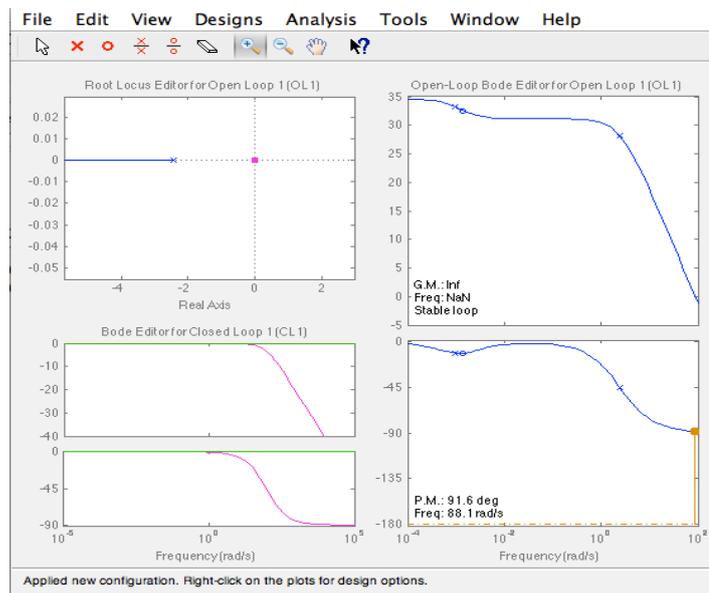


Figura 36. Características del sistema

$$M_p = 1\%$$

$$t_s(2\%) = 25[s]$$

$$M_p = 0.01$$

$$M_p = e^{\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

$$\xi = \frac{|\ln(\xi)|}{\sqrt{\pi + \xi^2}} = \frac{|\ln(0.07)|}{\sqrt{\pi + 0.07^2}} = 0.846$$

$$ts(2\%) = 25$$

$$ts = \frac{4}{\xi\omega_n}$$

$$\omega_n = \frac{4}{\xi(ts)} = \frac{4}{0.85(45)} = 0.105[\text{Rad}/s]$$

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\xi^2} = \omega_n\sqrt{1-0.85^2} = 0.0553$$

$$\sigma = \xi\omega_n = 0.0885$$

$$Pdom = -0.0885 \pm j0.0553$$

$$-\frac{ki}{kp} = -0.0885$$

$$Gc(s) = \frac{k(s+0.0885)}{s}$$

$$Gc(s) = \frac{88.09(s+0.0885)}{s}$$

Con los valores calculados podemos mostrar el resultado de la planta controlada como muestra la Figura 37.

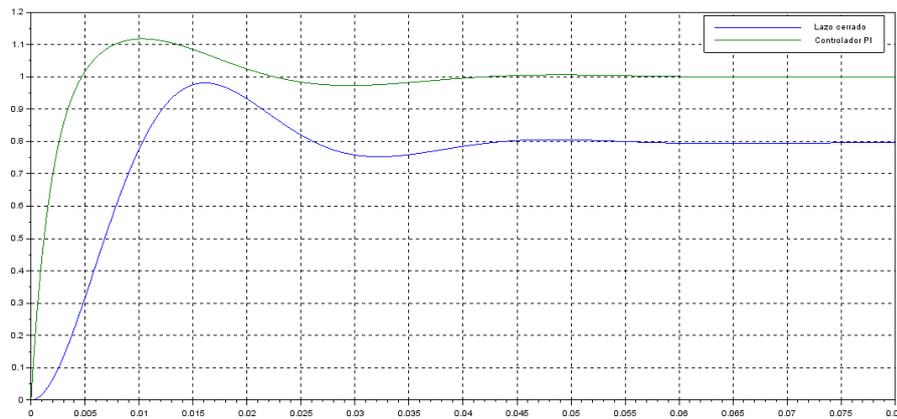


Figura 37. Control PID

3.2.2.2. Diseño de la Red

El presente sistema de entrenamiento en redes industriales, requiere de un sistema de comunicaciones con un alto grado de desempeño, un volumen de tráfico de datos normal. Deberá evitarse en lo posible colisiones internas de la información dentro de la red.

Se deben definir las topologías físicas y lógicas de la red a implementar. La topología física hace referencia a la disposición física de las máquinas, los dispositivos de red y cableado. Con respecto a la topología lógica, se refiere al trayecto seguido por las señales a través de la topología física, es decir, la manera en que las estaciones se comunican a través del medio físico.

Requerimientos de la Red

Los requerimientos mínimos que debe cumplir el diseño de la Red, contemplan los dispositivos de la Tabla 12.

Tabla 12.

Requerimientos de la Red

Cantidad	Dispositivo (host)
1	PLC Simatic S7-1200
1	Panel KP300 Basic PN

El diseño de red, deberá contemplar tecnologías de comunicación industrial ProfiNet. En la imagen de la Figura 38. se puede establecer los requerimientos de diseño para los dispositivos que formaran parte del Sistema de entrenamiento en Redes Industriales

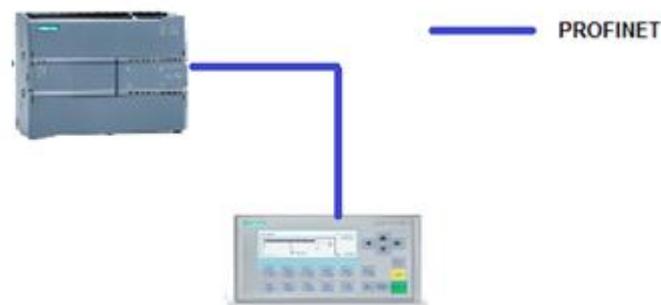


Figura 38. Dispositivos del sistema de Red

3.2.2.3. Diseño de la red Profinet

Diseño Físico

En el diseño físico de la red a implementar se cuenta un dispositivo industrial que posee puerto Ethernet, se utiliza medios de comunicación guiados, como medios de comunicación guiados se tiene la utilización de cable UTP clase 5E o superior, y como medio de comunicación. La estructura lógica de la red LAN es en estrella, bajo este esquema es necesario asignar una dirección IP de la topología física.

Red Ethernet ILAN

Mediante una red Ethernet se realiza la conexión a nivel físico, por medio de un cable UTP categoría 5E se interconecta el variador al PLC.

Topología de la Red

El sistema dispone de una topología punto a punto, ya que el nodo está conectados al PLC. Los mensajes del nodo pasan directamente al dispositivo, que determinará, en su caso, hacia dónde debe encaminarlos véase Figura 39.

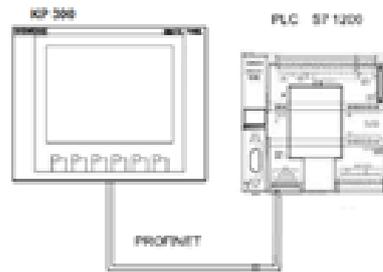


Figura 39. Topología punto - punto

La Figura 43. Muestra la conexión del variador con el PLC, para ello es necesario la dirección IP indicada en la Figura 40.

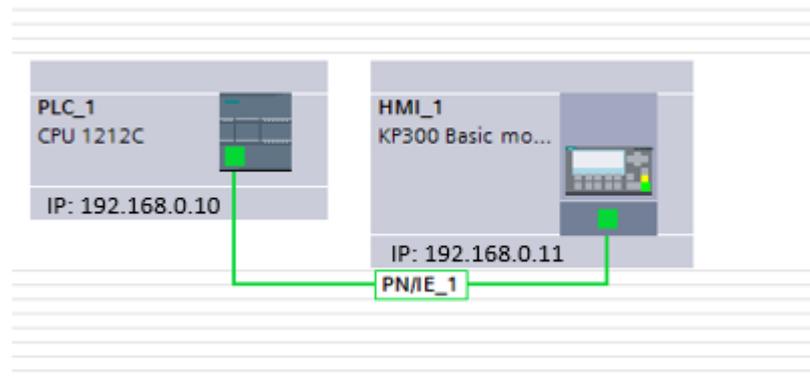


Figura 40. Conexión Profinet

- ✓ Conectado con PLC_1, dirección IP =192.168.0.10.
- ⚠ Pasar a online: la configuración HW de HMI_RT_1 ha cambiado pero no se ha compilado ni c..
- ✓ Conectado con HMI_RT_1, dirección MAC =00-1C-06-26-5B-77.

Figura 41. Dirección IP de conexión

CAPÍTULO 4

REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

4.1. Flujo de materiales

El flujo de materiales describe el movimiento de los elementos dentro de los diferentes procesos para transformar la materia prima (bobinas de PVC sin corte) en un producto terminado (bobinas de PVC cortadas).

El proceso del flujo de materiales es realizado en base a las normas VDI 3239/40 como muestra a continuación véase Figura 42.

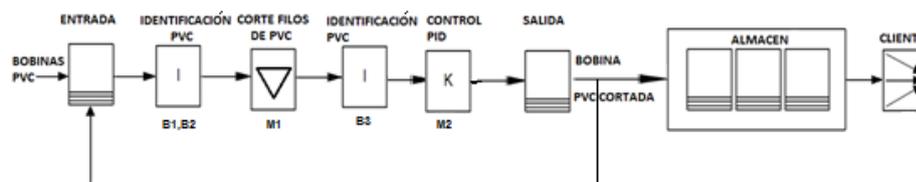


Figura 42. Flujo de materiales

El proceso de la Figura 42, muestra el flujo de materiales a usarse para el diseño del control automático, analizando los elementos a emplearse en la implementación del diseño.

El flujo de materiales iniciará una vez que el sensor B1 detecte la existencia de una bobina de PVC a ser cortada, considerando el diámetro de la bobina para él envió de la señal de control de velocidad al motor de arrastre M2, una vez que se detecte la presencia de bobina de PVC, el operador manualmente llevará la punta del canto hacia las guías dando paso a la activación del sensor B2 el cual enviará una señal de activación al motor de la cuchilla M1 siempre y cuando la compuerta de seguridad se mantenga cerrada, empezando sí el corte manual, activando el tercer sensor B3 el cual envía la señal de activación y detención del motor de arrastre M2, una vez que los sensores B2, y B3 no detecten canto; el sensor B2 desactivará el motor de la sierra parando la cuchilla en un lapso de tiempo mínimo, si el sensor B3 no detecta canto este

desactivará el motor de arrastre, esto quiere decir que el corte ha finalizado. Se envía a bodega o entrega al cliente según su requerimiento.

4.2. Requerimiento del hardware y software

Se analizará los requerimientos necesarios para el diseño de las tres etapas: mecánica, eléctrica – electrónica y automática que contará la máquina cortadora de fillos PVC, considerando la utilización de los softwares (SolidWork, LabView, Matlab y TIA Portal) para la realización de los diseños correspondientes.

4.2.1. Hardware

Para la construcción de una máquina cortadora de fillos de PVC, según las necesidades de EmFALU se procede analizar los elementos hardware a usar para los requerimientos de construcción y automatización del proceso de corte.

4.2.2. Mecanización

Hace referencia a un elemento sujeto al proceso de corte de fillos de PVC como son los siguientes.

Tabla 13
Mecanizado Parte 1

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
PORTABOBINAS	Son platos de policarbonato usados para colocar la bobina de PVC ayudando al enrollamiento de la bobina de canto cortada.	
MOTOR TRIFÁSICO (1/2 HP, 1800 RPM, 60 Hz, 220V)	Se encarga de brindar movimiento a la sierra por lo cual es fundamental en el proceso de corte de fillos PVC.	
MOTORREDUCTO R TRIFASICO (1/2 HP , 60 Hz, 220 V)	El motorreductor es una caja de engranes, utilizado para la reducción del giro de velocidad del motor trifásico de ½ HP, con su funcionalidad para el arrastre del canto en el proceso de corte.	

Tabla 14

Mecanizado Parte 2

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
ENCODER 1800 PXR 24VCD OUT/PNP	<p>Un codificador de eje o generador de pulsos, usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor.</p>	
VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20	<p>Es una solución simple y compacta que se destaca por su rápida puesta en marcha, manejo simple, robustez y rentabilidad. El variador se encuentra disponible en cuatro tamaños para cubrir un rango de potencias desde 0,12 kW a 15 kW (0,16 hp a 20 hp) usado para el control de velocidad del motor de la cuchilla.</p>	
PLC SIEMENS 1200	<p>El Controlador Lógico Programable (PLC), módulo de señales digitales: 8 entradas DC SM / 8 salidas DC, es una herramienta usada para realizar el control automático de los elementos electrónicos en el proceso del corte de fillos de PVC.</p>	

Tabla 15

Mecanizado Parte 3

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>CONTACTOR SIEMENS 3RT 2024</p>	<p>Debido a su extrema robustez y a su óptima confiabilidad de contacto, conmutan con confianza suprema. Además, los armarios compactos eléctricos se pueden configurar con altas densidades de compactación. Esto se debe a que los bloques de contactos auxiliares y el circuito de protección solenoide están ubicados dentro del conjunto de los contactores. Esto hace más fácil la expansión del sistema y ahorra mucho espacio en el armario eléctrico.</p>	
<p>PULSADORES, LÁMPARAS Y SEÑALETICAS</p>	<p>Los pulsadores y las lámparas o señaléticas led, sus colores representan diferentes funciones que realiza la MÁQUINA en el proceso, el color verde; se refiere al proceso o puesta en marcha y la lámpara roja cuando ha ocurrido un paro repentino con una solución inmediata.</p>	

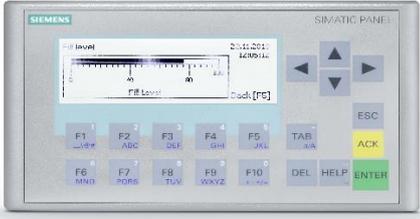
Tabla 16

Mecanizado Parte 4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
WT 100-P4430 PALPADOR REFLEX	<p>El palpador reflex NA, sensor fotoeléctrico, energético, dimensiones (11x31x20) mm ajuste de potenciómetro de 270°. Usado en el proceso para la detección de canto el primer sensor es usado en la detección de canto.</p>	
SECCIONADOR SIEMENS 10 A	<p>Mucho más que un seccionador: Guardamotor SIRIUS tamaños 3RV2021, los guardamotores SIRIUS 3RV20 son ultra compactos y limitan la corriente. Garantizan una desconexión segura en caso de cortocircuito y protege al motor y a la instalación frente a sobrecargas.</p>	

Tabla 17

Mecanizado Parte 5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
PANELVIEW HMI (Interfaz humano máquina)	<p>El panelview o pantalla táctil es usada para el manejo sencillo del operario, pudiendo así realizar la configuración deseada del cliente.</p>	
TABLERO ELÉCTRICO DE TOOL GALVANIZADO	<p>Tablero de (60x 40) cm, usado para la alimentación eléctrica de la máquina cortadora de fillos de PVC, llega a éste gabinete que distribuirá la energía necesaria por todos los elementos utilizados dentro de la misma, además cuenta con los elementos de protección.</p>	

4.2.3. Software

Una vez establecido los requerimientos del hardware, para la automatización se prevé el software que se usará, tanto para la programación del PLC, HMI y el modo de funcionamiento del variador de velocidad, rigiéndonos a la velocidad constante que requiere el motor de la cuchilla y el control automático que necesita el motor de arrastre.

En la etapa mecánica se usará el software de SolidWorks, para la realización de planos estructurales de las piezas mecánicas a construirse, en la etapa eléctrica – electrónica se usará el software de Autocad y LabView para el diseño de planos y simulación y en la etapa automática se usará el software de TIA Portal para la programación de los equipos automáticos.

4.2.3.1. Diagrama de flujo

Para poder realizar la programación a través del software TIA Portal, es necesario elaborar un diseño de flujo sobre la programación, mostrando el funcionamiento de la máquina cortadora de filos de PVC, véase en el Anexo 4.

4.2.3.2. Programación TIA Portal

PLC SIEMENS S7 1200 CPU 1212 AC

Una vez realizado el diagrama de flujo del programa, considerando todos los parámetros a programar las variables de entrada y salida en la programación son las mostradas en la Tabla 18.

Tabla 18

Tabla de variables PLC

SIMBOLO	DIRECCIÓN	TIPO	COMENTARIO
B1 Detección bobina	I0.2	Bool	SENSOR_DETECCIÓN_BOBINA
B2 Detección antes de cuchilla	I0.3	Bool	SENSOR_ANTES_CORTE
B3 Detección después de cuchilla	I0.4	Bool	SENSOR_DESPUÉS_CORTE
H1 Luz verde	Q0.5	Bool	LUZ_VERDE
K1 Motor cuchilla	Q0.0	Bool	MOTOR_CORTE
K2 Motor de arrastre	Q0.4	Bool	MOTOR_ARRASTRE
K3 Velocidad 1	Q0.2	Bool	VELOCIDAD_1
k4 Velocidad 2	Q0.3	Bool	VELOCIDAD_2
MB1 Detección bobina	M0.0	Bool	DETECCIÓN_BOBINA
MB2 Detección antes de la cuchilla	M0.1	Bool	ANTES_CORTE
MB3 Detección después de la cuchilla	M0.2	Bool	DESPUÉS_CORTE
MH1 Luz verde	M1.2	Bool	LUZ_PILOTO_VERDE
MK1 motor de cuchilla	M0.6	Bool	MOTORS_CORTE
MK2 motor de arrastre	M1.1	Bool	MOTOR_ARRASTRE
MK3 velocidad 1	M0.7	Bool	VELOCIDAD_1
MK4 velocidad 2	M1.0	Bool	VELOCIDAD_2
MS1/MS2 Paro de emergencia	M0.3	Bool	PULS_EMERG_PARO
MS3 reset	M0.4	Bool	PULSANTE_RESET
MS4 micro guarda cuchilla	M0.5	Bool	MICRO_GUARDA
S1/S2 Paro Emergencia	I0.5	Bool	PULSANTE_EMERG_PARO
S3 Reset	I0.6	Bool	PULSANTE_RESET
S4 micro compuerta cuchilla	I0.7	Bool	MICRO_GUARDA_ABIERTA
MF7	M3.5	Bool	
MF8	M3.7	Bool	
M_SEG	M2.6	Bool	
M_SEN_B2	M2.7	Bool	
MF3	M1	Bool	
MF5	M2	Bool	
MF7	M3	Bool	
MF8	M3	Bool	
Tag_1	MD10	Time	
Tag_3	MD20	Time	
MF4	M2.5	Bool	
MF5	M2.3	Bool	
MF7	M3.5	Bool	

NEW_REF	M2.1	Bool	
RESET	M2.0	Bool	
TAG_4	M10.0	Bool	
Tag_6	MB200	Byte	
Tag_7	M3.0	Bool	

HMI (interface humano – máquina) KTP 300 BASIC PN

Para la programación del HMI se considera las variables usadas en la programación como muestra la Tabla 19.

Tabla 19

Variables HMI

SÍMBOLO	DIRECCIÓN	TIPO	COMENTARIO
INGRESO_METROS	ID100	DInt	
METROS_REAL	MD60	Real	
OBS_MTROS	ID200	DInt	
OBS_MTROS_REAL	MD50	Real	
PULSOS_ENCODER	ID100	DInt	
PULSOS	MD30	Dint	
Tag_10	MD700	DInt	
F7	M3.4	Bool	F7_HMI
F8	M3.6	Bool	F8_HMI
F3	M1.6	Bool	F3_HMI
F5	M2.7	Bool	F5_HMI
F4	M2.4	Bool	F4_HMI

4.3. Diseño de bloques Hardware y Software

Diagrama de bloques realizado muestra la unión de la parte mecánica, eléctrica electrónica y automática, una vez cumplidas las tres etapas de la construcción se realizará las pruebas pertinentes para el corte de filamentos PVC véase Figura 44.

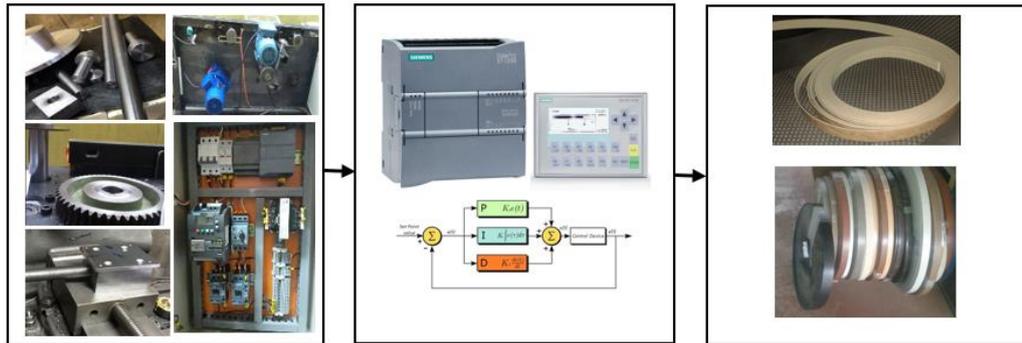


Figura 43. Diagrama de bloque Hardware y Software

CAPÍTULO 5

EJECUCIÓN DE PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla la implementación de las etapas: mecánica, eléctrica – electrónica y automática para la construcción previamente simulada y diseñada en el capítulo 4, se hace un análisis de los resultados obtenidos y se comprueba los objetivos planteados inicialmente.

5.1. Implementación

Para la ejecución de la máquina cortadora de filos PVC, como ya se mencionó en los capítulos anteriores cumple con tres fases: mecánica, eléctrica-electrónica y automática: para ello se ha realizado lo siguiente:

5.1.1. Construcción Mecánica

Las piezas mecánicas son construidas, en base a los planos realizados en el diseño del Hardware; son fabricadas en una metalmecánica, debido a que cuenta con equipos necesarios como: tornos, fresadora, soldadura, limas, etc.

Entre una de las piezas mecánicas construidas tenemos las siguientes:

Platos de bobinas

Los platos de bobinas son construidos con un material de policarbonato, usados como base para las bobinas véase Figura 45.



Figura 44. Platos bobinas

Buje de bobina

Es una pieza cilíndrica que recibe el material cortado, gira alrededor de su eje véase Figura 46.

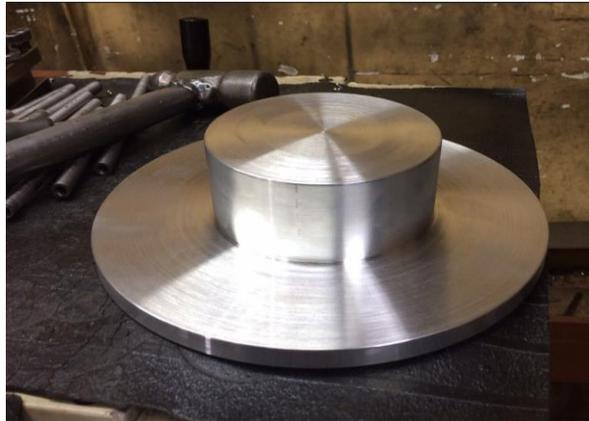


Figura 45. Buje de bobina

Cuchilla

Para la sujeción de la cuchilla se construye los siguientes elementos en base a los planos del Anexo 2: buje del motor, tornillo, soporte; de esta forma se asegura un giro adecuado y seguro en la realización del corte de PVC, para la ubicación de la sierra hay que considerar que la cuchilla se encuentra girando en forma horaria y debe colocarse opuesto al sentido véase Figura 47.



Figura 46. Sierra dentada

Eje de soporte

Piezas mecánicas para la sujeción del motor de arrastre y motor de la sierra véase Figura 48.



Figura 47. Eje de soporte

Otros

Son los elementos complementarios adicionales para el funcionamiento mecánico como son los siguientes elementos: tensores, rodillos, resortes, guías, regulación del diámetro interno del plato de la bobina sin corte, soporte del motor de sierra, soporte del motor de arrastre, palancas de freno véase Figura 49.



Figura 48. Elementos Mecánicos construidos

Una vez concluida la construcción mecánica se procede a la construcción eléctrica-electrónica.

5.1.2. Construcción Eléctrica – Electrónica

De acuerdo a los planos eléctricos del Anexo 1, referente al plano H1 del Diagrama de fuerza, se realiza la conexión de: motor, guardamotor, variador, contactores, interruptor, relés, pulsadores, PLC S7 1200 y Panel KTP 300 en el tablero de control y de mando.

Para el montaje de los elementos eléctricos – electrónicos se usa un tablero eléctrico de 60x60x60 cm de tool galvanizado véase Figura 50.



Figura 49. Puerta del tablero de Control Eléctrico

Una vez adquirido los elementos eléctricos – electrónicos, se ubica en el tablero de control eléctrico, dejando espacio para la canaleta véase Figura 51.

Muestra la localización final de los elementos véase Figura52.

Una vez realizado el cableado de los elementos eléctricos y electrónicos se etiqueta de acuerdo a los planos del Anexo 1, referente al plano H1 del Diagrama de fuerza véase Figura 53.



Figura 50. Construcción del tablero de Control Eléctrico 1



Figura 51 Construcción del tablero de Control Eléctrico 2



Figura 52. Construcción del tablero de Control Eléctrico 3

El tablero terminado véase Figura 54.



Figura 53. Construcción del tablero de Control Eléctrico 4

Una vez realizado la conexión de los elementos electrónicos, ingresa al tablero de control eléctrico el cableado externo del motor, guardamotor, encoder, sensores fotoeléctricos, botones industriales y Panel KTP 300.

Conectando las entradas y salidas del PLC S7 1200 como muestra en los planos eléctricos del Anexo 1, referente al plano H2 del Diagrama de entradas del PLC, y así poder dar la señal de activación del motor, variador, motorreductor, y tomar valores del encoder.

Otros

Para la conexión del panel KTP 300, se instala la pantalla en un tablero eléctrico de 40x40x40 cm, de tool galvanizado además de la instalación de los botones industriales: Paro de emergencia, paro, marcha véase Figura 55 .



Figura 54. Tablero de control eléctrico para el panel

Motor AC DE ½ HP para el arranque de la cuchilla, y motorreductor de ½ HP, usado en el arrastre del filo véase Figura 56.



Figura 55. Motor y Guardamotor

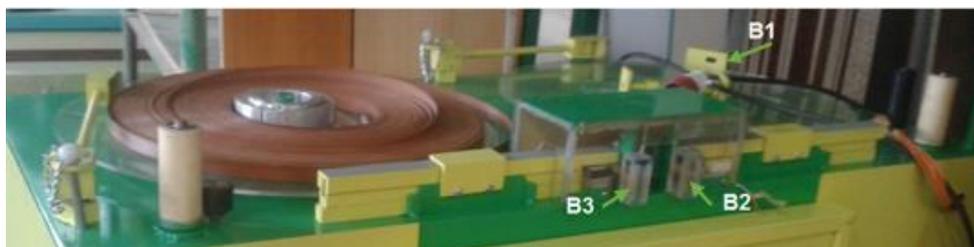


Figura 56. Ubicación de los sensores fotoeléctrico

La ubicación mostrada en la Figura 57, el primer sensor fotoeléctrico (B1) es usado en la detección del nivel de la bobina sin corte para el control automático de la velocidad de corte del canto; el segundo sensor fotoeléctrico

(B2) es usado para la detección de canto y envío de la señal a encender el motor de la cuchilla y hacerla girar; el tercer sensor fotoeléctrico (B3) instalado es usado para la detección de canto cortado y envía una señal que permitirá el arranque o detención del motor de arrastre.



Figura 57. Sensor fotoeléctrico

El botón de emergencia es usado como su nombre lo dice en el caso de existir una emergencia en el proceso de corte se presiona el capuchón emergente y el proceso se detendrá inmediatamente reseteando todo el proceso, el botón de color verde es usado para el reseteo antes de iniciar el proceso de corte y su luz muestra la puesta en marcha de la máquina cortadora de filos; el botón rojo como su color lo indica es para una parada momentánea, en caso que el operario se encuentre con problemas instantáneos a resolver y regresar al proceso en las condiciones anteriores véase Figura 59.



Figura 58. Pulsantes de mando, paro y emergencia

5.1.3. Construcción Automática

Una vez realizada la conexión de la parte eléctrica – electrónica, la parte automática es la programación de los elementos para la automatización los cuales son: variador de frecuencia, PLC s7 1200 y panel KTP 300.

Variador de velocidad

Para la programación del variador de frecuencia es necesario guiarse con el datasheet del variador Sinamic V20, una vez reseteado el variador se procede a ingresar los parámetros del motor (M1), localizados en la placa del motor como son: 60 Hz, voltaje motor trifásico 220 V, y una corriente nominal de 1.89^a. Una vez ingresados los valores la velocidad del motor de la cuchilla mantendrá una velocidad constante al realizar el corte véase Figura 60 .



Figura 59. Variador de velocidad

PLC

Para la programación del PLC S7 1200, se usa software TIA PORTAL, es necesario al realizar la programación direccionar las variables de entradas y

salidas acorde el programa diseñado, y así obtener un proceso automático correcto al realizar el corte véase Figura 61.

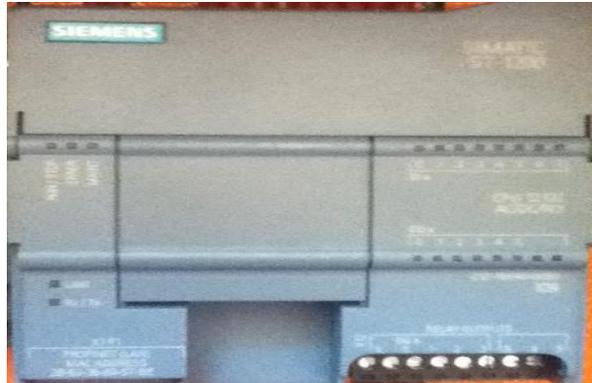


Figura 60. PLC Siemens S7 1200

HMI

Para un manejo amigable de la máquina cortadora de fillos PVC es necesario la utilización de una pantalla, que ayude al operario a saber el proceso que está realizando, así también como el ingreso de datos que el operador desee ejecutar, como es: la selección del menú, ingreso de corte por metros, corte total o simplemente la medida de la bobina, realizando el proceso de corte que se detalla en el manual del operador (véase en el Anexo 5).

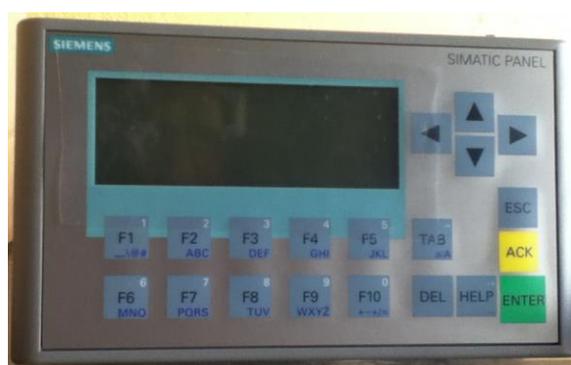


Figura 61. Panel Siemens KTP 300

Motor de la cuchilla



Figura 62. Diagrama bloques activación del motor M1 (cuchilla)

El diagrama de bloques presentado muestra el proceso automático que realiza la activación del motor de la cuchilla realizando lo siguiente:

Una vez energizada la máquina y puesta en modo arranque a través de la pantalla HMI, al realizar el proceso manual el sensor (B2) ubicado en la primera guía, es el encargado en enviar la señal de presencia de canto al PLC, para la activación del variador controlando así el envío de velocidad del motor (M1) de la cuchilla manteniendo una velocidad constante en el proceso de corte, una vez que el sensor (B2) deje enviar la señal al PLC el motor se desactiva automáticamente parando el giro de la cuchilla en 3 segundos.

Motor de arrastre



Figura 63. Diagrama bloques activación del motor M2 (arrastre)

El diagrama de bloques presentado muestra el proceso automático que efectúa la activación del motor de arrastre realizando lo siguiente:

Una vez energizada la máquina y a través de la pantalla HMI, activado el modo arranque, se puede ingresar a la pantalla modo automático siempre y cuando el sensor (B3) ubicado en la segunda guía se encuentre activado, enviando este la señal de presencia de canto al PLC, para la activación del

motor (M2) para el arrastre del canto obteniendo un control de velocidad PI programado en el PLC, en el proceso de corte; una vez que el sensor (B3) deje de enviar la señal al PLC el motor se desactivara automáticamente parando al motor (M2) y por ende el arrastre del canto.

5.2. Pruebas y resultados de la máquina cortadora de filos PVC

Una vez concluido el diseño y construcción de la máquina cortadora de filos PVC, se ejecuta las pruebas para todos los casos en el que la máquina pueda fallar al efectuar los diferentes cortes de PVC véase Figura 65 y Figura 66.

- Para la primera prueba de corte se encuentra una falla inicial, consiste en la ubicación del sentido de la cuchilla, debido a que el motor de la cuchilla "M1" gira en sentido horario y la cuchilla debe girar, contra sus dientes esto quiere decir en sentido antihorario. Se da como resultado un empuje a la bobina y no realizando un corte, cuando la cuchilla se encuentra mal en un mal sentido.



Figura 64. Resultado de la posición errónea de la cuchilla



Figura 65. Giro correcto de la cuchilla circular dentada

- Continuando las pruebas pertinentes se considera para que no existe un desenvolvimiento de las bobinas en el plato principal, poner un sistema de ajuste de frenos mecánicos y así las bobinas se mantengan

estables y no puedan desenvolverse y causar un golpe al operario al realizar el corte véase Figura 67.

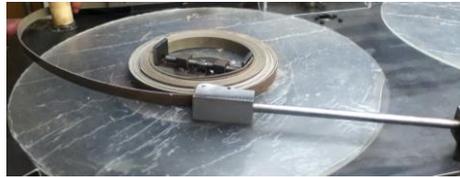


Figura 66. Sistema de freno mecánico

Tomando en cuenta las perturbaciones o interrupciones que se pueden dar mediante el corte obtuvimos los siguientes resultados:

- Una vez iniciado el proceso de corte acorde como indica el manual de operación, se activa una de las interrupciones que puede suscitarse, cuando el operador levanta la puerta de seguridad mientras está realizando el proceso de corte total, corte por metros o el conteo, todo el sistema se detiene y se resetea véase Figura 68.



Figura 67. Puerta de seguridad

- Otra de las interrupciones que puede suscitarse en el transcurso del proceso, cuando un operador ingresa mal la actividad requerida que realice la máquina cortadora, puede ser una medida errónea en metros, o mando a contar cuando debía cortar toda la bobina se puede presionar el botón de paro y volver a iniciar todo nuevamente considerando que el proceso debe volverse a reiniciar presionando el botón verde. Además que el botón paro (rojo) es usado para paradas de emergencia leves como: atascamiento del canto, mal envolvimiento,

mala medida, limpieza del residuo, esta opción vuelve la máquina al estado en la que se dejó y no se reinicia véase Figura 69.



Figura 68. Paro momentáneo (botón rojo)

- Una interrupción emergente y de forma inmediata es la presión del capuchón de emergencia, reiniciando todo el proceso de la máquina borrando datos de canto cortados o contados véase Figura 70.



Figura 69. Paro emergente (capuchón rojo)

- Una interrupción causada, cuando el proceso ya inicio es la desactivación directa del panel de distribución, desactivando así de forma forzada a la máquina y borrando los datos de la memoria del PLC véase Figura 71.



Figura 70 Interruptor principal

- Una interrupción a la que no se puede evitar es debido a cortes del suministro de energía, el cual puede causar apagones inmediatos desenergizando de forma inmediata la máquina cortadora y por ende resetear la máquina cuando nuevamente se encienda véase Figura 72.



Figura. 71 Mal clima

Debido que el material de la materia prima, viene de diferentes medidas y espesor, se realizó la prueba del corte con PVC flexible (22x0.45) mm, teniendo los siguientes resultados véase Figura 73.

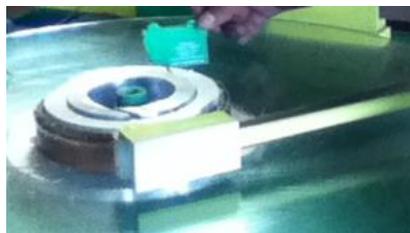


Figura 72. Corte de PVC (22x0.45) mm

Se encontró con el problema al realizar el proceso de corte, en modo arranque (parte manual), que interviene el operario por ser el material muy flexible existe dificultad en el paso de las guías, además dentro del core de

ajuste en el segundo portabobinas la punta de canto cortado se zafa y no se puede obtener un arrastre y cortar. Una vez solucionado el problema de ajuste de la punta de canto se obtiene un corte deseado véase Figura 74.

Las pruebas de corte con canto (22x2) mm al realizarse se obtiene un corte deseado como muestra a continuación.



Figura 73. Canto a cortar

Una vez medido el canto que se va a cortar se realiza el proceso de corte y se tiene como resultado una medida perfecta, además que el corte se demora 3 segundos por metro teniendo un corte rápido, preciso y eficaz véase Figura 75.



Figura 74. Medida del corte a 19 mm

Toma de medidas

Para poder saber el tiempo que se ocupará al operario y en sí el tiempo que tardará la máquina en cortar el filo PVC, que el operario requiera se ha realizado las siguientes tablas con varias tomas de tiempo perfeccionando el tiempo a través de las pruebas realizadas véase Tabla 21.

Tabla 20

Tabla toma de medidas MÁQUINA cortadora de fillos

EmFALU									
DATOS BOBINA			OPERACIÓN A REALIZARSE			DURACIÓN DEL CORTE (s)			OTROS
Color	Espesor	Medida (metros)	Corte total	Corte por metros	Medicion de canto	Modo manual	Modo Automatico	Duracón total del corte	Observación
Siena	22x2 mm	5				12 segundos	15 segundos	30 segundos	medida tomada proceso completo
	22x2 mm	8						1 minuto 45 seg	medida tomada para la medicion
	22x2 mm	10				1 minuto 17 segundos	1 minuto 38 segundos	2 minutos y 56 segundos	medida tomada proceso completo
	2x22 mm	10					60 segundos	2 minutos	medida tomada para la medicion
	2x22 mm	20						2 minutos y 36 segundos	medida solo corte
	2x22 mm	5				20 segundos	11 segundos	33 segundos	medida tomada proceso completo

5.2.1. Análisis de Resultados

Se ha obtenido los resultados esperados, cumpliendo con el tiempo reducido en el corte, a comparación con el corte artesanal; además de la calidad en el corte: el corte en la máquina automática es liso no dentado y con partiduras en varios fragmentos de la bobina cortada como es el corte artesanal.

Para la comprobación del control PI, diseñado se muestra la reacción que cumple al tener como entrada (set point), en este caso se elige la opción de “cantidad de metros” para el ingreso de la cantidad de metros que se desee cortar: 17m, para ello muestra que su velocidad enviada por una señal al variador a través de la frecuencia que esta obtiene teniendo una rampa de estabilidad por pasos hasta los 15 Hz, llegando al punto de estabilidad y debido al diámetro de la bobina este subirá a su máxima velocidad, la cual está calculada a través de las medidas tomadas del corte artesanal y lo planteado en los objetivos teniendo como velocidad máxima cuando el variador envíe la señal a 40 Hz, pueda cumplir la estabilidad, hasta que se envíe la señal de finalización del corte y este detenga el motor de arrastre y por ende detiene el control PI.

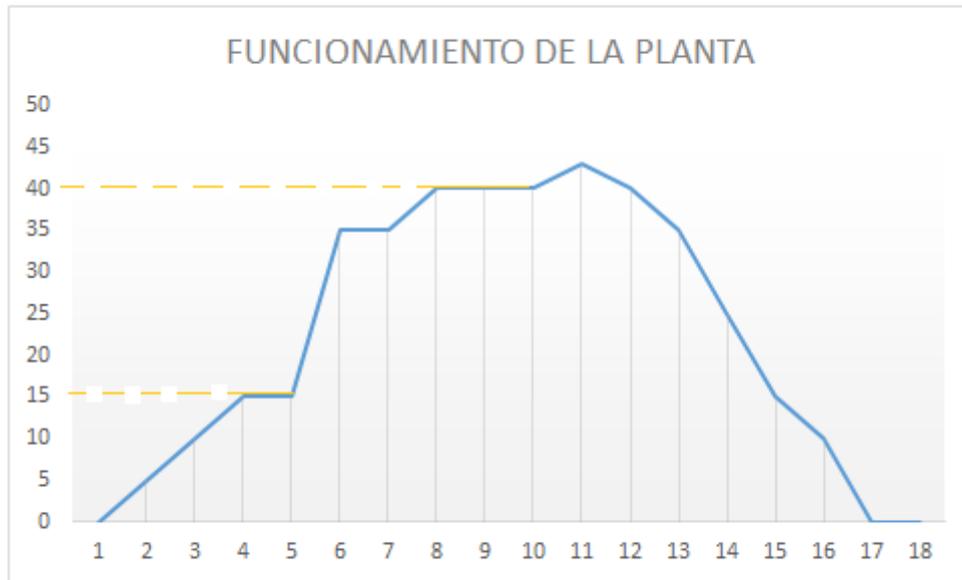


Figura 75. Estabilización de la planta

Una vez finalizado y cumpliendo con los objetivos planteados, debido a que la máquina es automatizada y nueva en la empresa EmFALU, un requerimiento esencial es la capacitación a los operarios, con respecto al funcionamiento y cómo actuar ante anomalías en la máquina cortadora de fillos PVC.

Se entregó un manual de operación preparado por y para los operarios, además que la interfaz HMI (humano - máquina) es amigable al operario ellos reciben la capacitación respectiva y nuestra supervisión en el primer corte realizado por los operarios, comprobando si lo explicado y el diseño HMI fue claro y correcto para ellos, en el transcurso del corte existieron dudas y aclaraciones que se solventaron en ese instante para que ellos se encuentren preparados para realizar el corte sin supervisión.

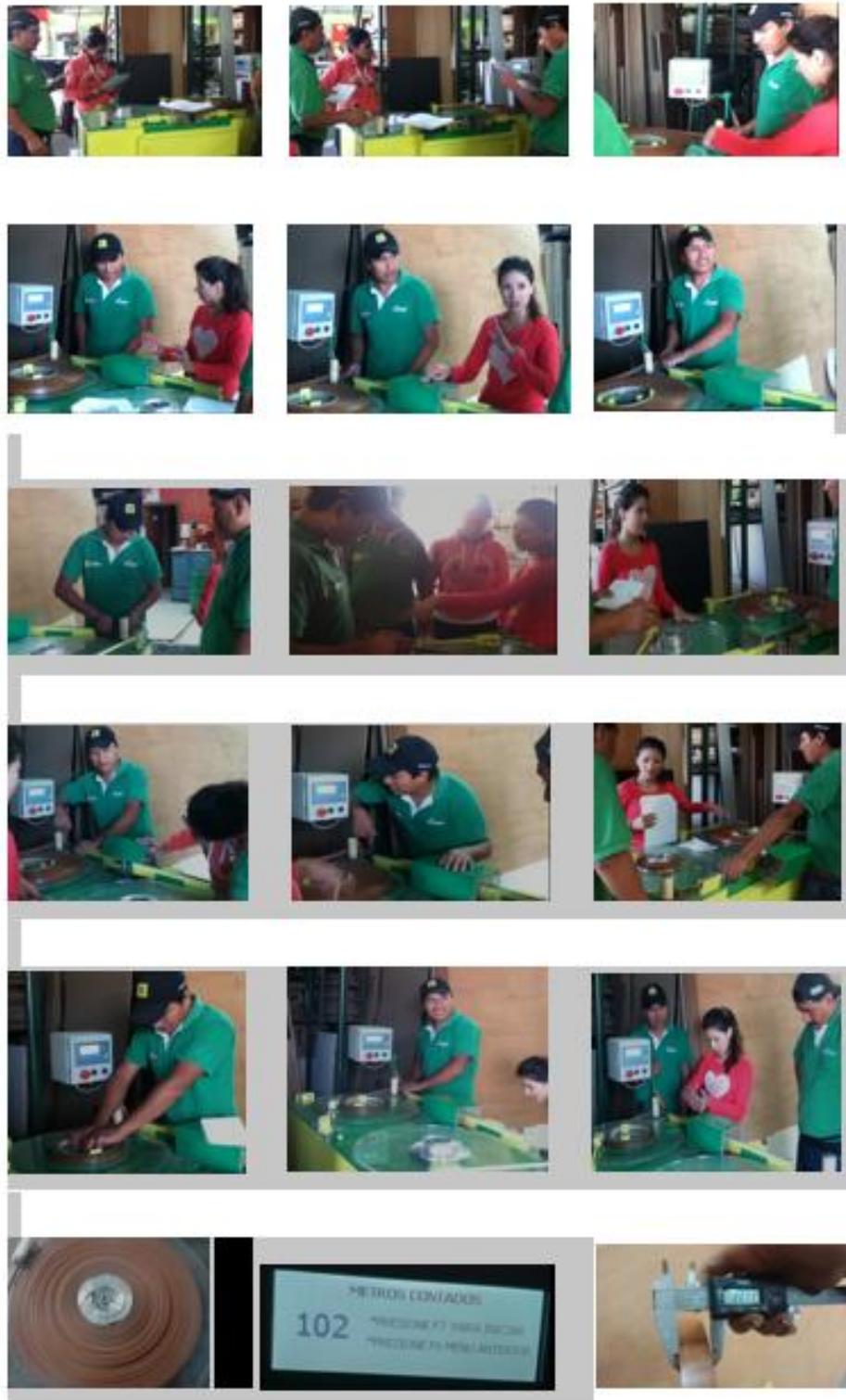


Figura 76. Capacitación del modo de uso de la máquina

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Al realizar la construcción de la máquina cortadora de fillos PVC, se cubre con las necesidades que se plantearon en el capítulo 1, dando correcto funcionamiento, un manejo interactivo y sencillo del panel para el uso de los operarios.
- Al observar el proceso de corte artesanal de la empresa EmFALU, y comparar con el proceso automático que realiza la máquina cortadora de fillos de PVC se compara la mejora del corte, el ahorro de energía, la inversión recuperable en corto plazo.
- Con las pruebas realizadas muestra que el tiempo requerido del operador en el corte de fillos PVC es de 1 a 2 minutos al contrario del corte artesanal que se realizaba en la empresa EmFALU, requiriendo 30 minutos de la intervención del personal al requerir un corte.
- El principal requerimiento de la empresa EmFALU, en la construcción de la máquina cortadora de fillos PVC es la seguridad para el operario al realizar el corte no ocurra ningún tipo de accidente laboral, como es el corte con la cuchilla al operar la máquina.
- Al realizar el análisis de precios, comparando el corte artesanal con el corte automático muestra el ahorro que se genera con la máquina cortadora de fillos PVC, ahorrando costos de personal, ahorro de tiempo en el corte, ahorro energético.
- Debido al clima, y el sector donde está ubicada la empresa EmFALU (valle de los Chilllos) un lugar propenso a caída de rayos, la MÁQUINA cuenta con punto a tierra, por seguridad del operario que no tenga una descarga eléctrica y cuidado ante quema de los elementos de la máquina.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda calibrar los dispositivos que intervienen dentro del proceso de corte con la finalidad de evitar posibles daños a la materia prima y al operador de la máquina, así como realizar una inspección minuciosa del estado de los equipos para conocer sus deficiencias.
- Se recomienda hacer un análisis profundo del estado inicial de la máquina para realizar los cambios necesarios a tiempo y evitar futuras complicaciones durante el proceso de corte.
- Se recomienda desarrollar la programación del PLC de manera ordenada de tal forma que se pueda comprender fácilmente el funcionamiento de cada línea de código y de cada subrutina.
- Se recomienda si existe problemas en el proceso de corte con la máquina cortadora de filos de PVC, revisar el manual del operario.
- Para una mejora de la máquina se recomienda automatizar las regletas usadas para la variación de la medida en el corte de PVC.
- Para la mejora de la máquina se recomienda usar tipo de material de menor peso en la estructura para que la máquina sea fácil de movilizar.

Referencias

- Asterion. (14 de Enero de 2016). *Calibre de conductores y su amperaje máximo*. Obtenido de <http://asterion.almadark.com/2010/05/31/calibre-de-conductores-y-su-amperaje-maximo/>
- Camplast. (5 de 11 de 2015). *Camplast, Tapacanto de PVC*. Obtenido de http://www.timesa.com.gt/sites/default/files/Hoja-Tecnica-tapacantos_termoplasticos_pvc.pdf
- Catarina. (14 de Enero de 2016). *Acciones de Control, Capítulo I*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/nunez_e_f/capitulo1.pdf
- Cataruña. (23 de Diciembre de 2016). *Controlador Lógico Programable PLC*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf
- Dalma. (s.f.). *Elaboración de Cantos*. Obtenido de <http://www.cantosdalma.es/rollos-bobinas-tiras-madera-cantos-recubrimientos.htm>
- EcuRed. (16 de Febrero de 2016). *Sierra circular*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Sierra_circular
- Engranajes*. (23 de Noviembre de 2015). Obtenido de http://www.electronicaestudio.com/docs/1550_Tutorial_de_ENGRANE_S.pdf
- Generadores. (23 de Diciembre de 2015). *Generadores*. Obtenido de <http://lra.unileon.es/es/book/export/html/316>

- H. Baumgartner, K. K. (2010). *CIM Consideraciones básicas*. España: Marcombo, S.A.
- INEN. (14 de Enero de 2016). *Servicio Ecuatoriano de Normalización*.
Obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- INTERMEC S.A. (15 de 01 de 2016). *Tensores Universales*. Obtenido de <https://www.assembla.com/spaces/warthog-combate/documents/alcblw1Dur4y2cacwqjQWU/download/alcblw1Dur4y2cacwqjQWU>
- Line, E. O. (12 de Diciembre de 2015). *Aplicaciones y componentes*.
Obtenido de http://www.editores-srl.com.ar/anuario/componentes/siemens_variadores_de_velocidad_sinamics_v20
- López Adrian, V. G. (18 de Septiembre de 2015). *cib*. Obtenido de http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-90818.pdf
- Lozano, L. (23 de Noviembre de 2015). *Sistemas Mecánicos*. Obtenido de http://es.slideshare.net/Luisa_regino/sistemas-mecnicos
- R&M. (14 de Diciembre de 2015). *Reparaciones Eléctricas R y M S.L.L.*
Obtenido de http://www.rymburgos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=23
- Rodríguez, E. (2012). *Sensores Fotoeléctricos*. Matamoros: Instituto Tecnológico de Matamoros.
- Schneider Electric. (5 de Noviembre de 2015). *Capítulo 4, Variadores de velocidad, arrancadores electrónicos y motores*. Obtenido de http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04_1907.pdf

SIEMENES. (23 de Diciembre de 2015). *Material de Instalación*. Obtenido de http://www.siemens.com.ar/sites/internet/legacy/sie-pe/pe/interruptores_termomagneticos.htm

Siemens. (14 de 01 de 2016). *KP300 Basic Mono PN*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/49864804/liberacion-de-terminales-para-el-suministro-simatic-hmi-kp300-basic-mono-pn?dti=0&lc=es-WW>

Sistemas de control, Capítulo 2, version 2003. (23 de Diciembre de 2015). Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/6722/acciones%20basicas%20PID.pdf>

Sparkfun. (14 de Enero de 2016). *Encoder*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/11102>

WEG. (14 de Enero de 2016). *Selección y aplicación de motores eléctricos*. Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-motores-electricos-articulo-tecnico-espanol.pdf>