



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CORTE DE CHAPA METÁLICA AUTOMÁTICO CON HMI,
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS BUSES DE DATOS
INDUSTRIALES, PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA
EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI”**

**AUTORES: EDWIN DAVID BASANTES GUAMUSHIG
ANA GABRIELA PALOMO GUILCAMAIGUA**

DIRECTOR: ING. HÉCTOR TERÁN

LATACUNGA

2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CORTE DE CHAPA METÁLICA AUTOMÁTICO CON HMI, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS BUSES DE DATOS INDUSTRIALES, PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI**” realizado por los señores **Edwin David Basantes Guamushig** y **Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Edwin David Basantes Guamushig** y **Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, agosto del 2016

Atentamente,

Ing. Terán Héctor.

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Edwin David Basantes Guamushig** con cédula de identidad N° **0503787038** y **Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua**, con cédula de identidad N° **0502868805**, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CORTE DE CHAPA METÁLICA AUTOMÁTICO CON HMI, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS BUSES DE DATOS INDUSTRIALES, PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI”** 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 nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto del 2016

Edwin David Basantes Guamushig
C.I.: 0503787038

Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua
C.I.: 0502868805



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Edwin David Basantes Guamushig y Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CORTE DE CHAPA METÁLICA AUTOMÁTICO CON HMI, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS BUSES DE DATOS INDUSTRIALES, PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2016



Edwin David Basantes Guamushig
C.I.: 0503787038



Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua
C.I.: 0502868805

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado de todo corazón para toda mi familia quienes han sido el pilar fundamental y la fuente de inspiración para alcanzar este logro tan anhelado; a mis padres Jaime y Emma quienes con su apoyo incondicional y permanente han estado pendientes de mí en cada una de mis metas a cumplir, gracias también por sus buenos consejos, sus enseñanzas y sus deseos de superación que me han servido de mucho y se ven plasmados en mí. Su esfuerzo y lucha constante han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

A mis hermanos Fabián y Alex quienes de una u otra manera me han brindado su apoyo, así como también muchos momentos de alegría.

Edwin David

DEDICATORIA

A mis maravillosos padres, Gonzalo y Rosario, por su apoyo incondicional en todo momento, por ser mí ejemplo de superación, por su infinito amor y sus sabios consejos, los mismos que me han llevado a ser la persona que soy ahora.

A mis amados hermanos Erik y Andrea, quienes alegran mis días con cada una de sus ocurrencias, por creer en mí y darme ánimos para culminar cada una de mis metas, por su inmenso amor y por permitirme disfrutar de su compañía.

A mi primita Madeleyne, a quien amo como si fuese mi hermanita menor, por sus palabras de apoyo, tiernas e inocentes, por alegrarme la vida con su sola presencia.

Ana Gabriela

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, le agradezco también por darme unos padres tan maravillosos, de ejemplo y superación.

A mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora.

A la empresa INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI, por brindarme su apoyo total en la realización de este proyecto, así como también al director de este proyecto quien con su paciencia y tiempo ha sabido guiarnos correctamente.

Por último agradezco a todas y cada una de las personas quienes me brindaron su apoyo para alcanzar este logro.

Edwin David

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi Padre Celestial, por la fuerza y constancia que me ha dado para alcanzar mis metas, pero más que nada por ser mi guía y mi camino en todo momento.

A mí querida Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y sus docentes, quienes supieron infundir en mí los conocimientos necesarios para desempeñarme en la vida profesional.

A mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos y cada una de las personas que forman parte de mi vida, por haber colaborado de una u otra forma para que se cumpla uno de mis mayores anhelos.

A David Borja por estar conmigo en todo momento, por cada uno de los instantes compartidos, pero sobre todo por darme aliento para concluir con éxito esta etapa de mi vida. Gracias.

Ana Gabriela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Estado del arte	2
1.3. La empresa	5
1.3.1. Área al que va dirigido el proyecto	5
1.3.2. Proceso de corte	6
1.4. Componentes del sistema de corte existentes en la empresa	6
1.4.1. Cizalla de guillotina	6
1.4.2. Desbobinadora Móvil.....	7
1.4.3. Roladora.....	8
1.5. Buses de datos industriales.....	8

1.5.1. Medios de transmisión	9
a. Medios guiados	9
b. Medios no guiados	9
1.5.2. Modos de transmisión de datos según las líneas empleadas	9
1.5.3. Tipos de redes según forma.....	10
1.6. Bus industrial Modbus	10
1.6.1. Modos de transmisión	11
1.7. Bus industrial Profibus.....	12
1.8. Analizador de Protocolos de Comunicación de Datos.....	13
1.8.1. Analizador de protocolos Profibus Tester 4.....	14

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....	16
2.1. Introducción.....	16
2.2. Diseño por calidad.....	16
2.2.1. Casa de la calidad	16
2.2.2. Requisitos del cliente	17
2.2.3. Requisitos técnicos	17
2.2.4. Conclusión de la casa de la calidad	18
2.3. Diseño conceptual.....	20
2.3.1. Especificaciones para el diseño	20
2.3.2. Principio básico de funcionamiento	20
2.3.3. Matriz morfológica	23
2.3.4. Matriz de evaluación	26
2.4. Diseño del sistema mecánico.....	27
2.4.1. Diseño del mecanismo de arrastre de lámina	27
a. Modelado del rodillo de arrastre	28

b.	Diseño del eje de transmisión	28
b.1.	Límite de resistencia a la fatiga	32
b.1.1.	Factores que modifican al límite de resistencia a la fatiga	33
c.	Diseño del eje supresor	36
d.	Selección de rodamiento	38
e.	Selección de cadena piñón	41
f.	Análisis fuerza de rolado	41
f.1.	Cálculo de la potencia del motor	42
g.	Análisis estático de la estructura de la mesa de arrastre de lámina ..	45
g.1.	Distribución de cargas	45
g.2.	Máxima tensión principal	46
g.3.	Deformación total de la estructura	47
g.4.	Factor de seguridad	47
2.4.2.	Diseño del mecanismo de mesa de guiado	48
a.	Diseño del eje de guiado	48
b.	Análisis estático de la estructura de la mesa de guiado de lámina ...	52
b.1.	Distribución de cargas	52
b.2.	Deformación total	52
b.3.	Máxima tensión principal	53
b.4.	Factor de seguridad	53
2.5.	Diseño del sistema electrónico y electrónico	54
2.6.	Descripción de los dispositivos de control	54
2.6.1.	PLC	54
2.6.2.	Módulo de salidas analógicas	56
2.6.3.	Módulo de comunicación Profibus DP	57
2.6.4.	Touch Panel	58
2.6.5.	Encoder	58

2.7.	Descripción de elementos de potencia.....	59
2.7.1.	Motor	60
2.7.2.	Variador de frecuencia	61

CAPÍTULO III

3.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	64
3.1.	Implementación del sistema mecánico.....	64
3.1.1.	Mecanismo de arrastre de lámina	64
a.	Fabricación eje de transmisión.....	64
b.	Fabricación eje de arrastre.....	65
c.	Fabricación lateral fijo	65
d.	Fabricación lateral móvil.....	65
e.	Fabricación volante	65
f.	Fabricación de soportes del tornillo.....	66
g.	Mesa de arrastre	66
3.1.2.	Mecanismo de guiado de lámina.....	67
a.	Fabricación rodillo de guiado.....	67
b.	Fabricación guía lateral	67
c.	Fabricación mesa de guiado	67
3.1.3.	Montaje y ensamblaje del sistema de guiado y arrastre.....	68
3.2.	Implementación del sistema eléctrico.....	69
3.2.1.	Tablero de control	69
3.2.2.	Cableado del sensor ENC-1-1-T-24.....	71
3.3.	Implementación del software.....	72
3.3.1.	Bloques de programación PLC.....	72
3.3.2.	Diseño HMI.....	73
3.3.3.	Calibración del sensor ENC-1-1-T-24	75

3.3.4. Configuración variador de frecuencia.....	76
3.4. Implementación de la Red Profibus.....	78
3.4.1. Selección de dispositivos	79
3.4.2. Programación de dispositivos.....	80
3.4.3. Comunicación con Servidor OPC	80
3.4.4. Diseño de HMI en software LabVIEW	81
3.4.5. Conexión Física de la red Profibus.....	84

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	86
4.1. Operacionalización de variables.....	86
4.1.1. Operacionalización de la variable independiente	86
a. Pruebas de la variable independiente	87
a.1. Velocidad.....	87
a.2. Distancia.....	88
a.3. Tiempo de respuesta.....	88
a.4. Capacidad de datos	89
a.5. Número de nodos	89
a.6. Compatibilidad.....	89
4.1.2. Operacionalización de la variable dependiente	89
a. Pruebas de la variable dependiente	90
a.1. Precisión.....	90
a.2. Tiempo de corte y preparación.....	91
a.3. Facilidad de operación	93
4.2. Análisis comparativo	93
4.3. Análisis de rentabilidad	94
4.4. Beneficio dentro de la empresa.....	95

4.5. Validación de la hipótesis	96
4.5.1. Planteamiento de la hipótesis.....	96
4.5.2. Planteamiento de la hipótesis de trabajo y nula	96
4.5.3. Designación de variables	97
4.5.4. Valores observados.....	97
4.5.5. Valor de frecuencias esperadas y observadas.....	97
4.5.6. Cálculo de chi cuadrado	98
4.5.7. Cálculo del grado de libertad y nivel de significancia	98
4.5.8. Análisis de chi cuadrado mediante tabla	99

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. Conclusiones.....	100
5.2. Recomendaciones.....	102

BIBLIOGRAFÍA	103
---------------------------	------------

NETGRAFÍA.....	104
-----------------------	------------

ANEXOS.....	1047
--------------------	-------------

ANEXO A: Características del acero AISI-SAE 1018

ANEXO B: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

ANEXO C: Efecto de la temperatura de operación en el acero

ANEXO D: Factores de confiabilidad ke límite de resistencia a la fatiga

ANEXO E: Factores de concentración del esfuerzo Kt

ANEXO F: Sensibilidad a la muesca en de aceros

ANEXO G: Muesca en materiales sometidos a torsión inversa

ANEXO H: Kts en eje redondo con filete en el hombro en torsión

ANEXO I: Kt en eje redondo con filete en el hombro en flexión

ANEXO J: Características rodamiento FAG 6207.2RSR

ANEXO K: Características de la cadena RS-50-1

ANEXO L: Características de piñones de 5/8" de paso

ANEXO M: Programación control del sistema de corte

ANEXO N: Resolución encoder ENC-1-1-T-24

ANEXO O: Datos técnicos PLC S7 1200

ANEXO P: Programación maestro Profibus

ANEXO Q: Programación esclavo Profibus

ANEXO R: Distribución de Chi cuadrado

ANEXO S: Manual de usuario

ANEXO T: Costo área mecánica

ANEXO U: Costo área eléctrica y de control

ANEXO V: Planos eléctricos

ANEXO W: Planos mecánicos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características y ventaja de los buses.....	9
Tabla 2	Resumen Modbus	12
Tabla 3	Resumen protocolo Profibus	13
Tabla 4	Matriz morfológica red industrial	23
Tabla 5	Matriz morfológica estructura y rodillo de arrastre	24
Tabla 6	Matriz morfológica para el movimiento de rodillos	24
Tabla 7	Matriz morfológica sensor de distancia	25
Tabla 8	Matriz morfológica de controlador.....	25
Tabla 9	Matriz morfológica de medio de interfaz	25
Tabla 10	Matriz de evaluación redes industriales	26
Tabla 11	Matriz de evaluación del sistema de corte automático.....	26
Tabla 12	Parámetros útiles	27
Tabla 13	Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas ...	38
Tabla 14	Recomendaciones de vida de cojinetes.....	40
Tabla 15	Características del PLC S7-1200 CPU1214C.....	56
Tabla 16	Características Touch Panel KTP600 DP Basic HMI	58
Tabla 17	Características del encoder incremental ENC11T24	59
Tabla 18	Características técnicas motor WEG W22 - IE1	60
Tabla 19	Variador de frecuencia SV015iG5A-2	61
Tabla 20	Variador de frecuencia SV008iG5A-1	62
Tabla 21	Conexiones de terminales ENC-1-1-T-24	72
Tabla 22	Guía de accionamiento	77
Tabla 23	Operacionalización de la variable independiente	86
Tabla 24	Operacionalización de la variable dependiente.....	89
Tabla 25	Medición del tiempo de corte	92
Tabla 26	Medición del tiempo de preparación	92
Tabla 27	Ventajas y desventajas de las variables técnicas	94
Tabla 28	Ventajas y desventajas de las variables técnicas	95
Tabla 29	Valores observados	97
Tabla 30	Frecuencia observada.....	97
Tabla 31	Frecuencia esperada	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Soporte para el carrete de fleje.....	3
Figura 2	Rodillos para la parte de alineación	3
Figura 3	Sistema de medición y corte.....	3
Figura 4	Módulo didáctico de corte	4
Figura 5	Cizalla de guillotina	7
Figura 6	Desbobinadora móvil	7
Figura 7	Roladora de tres rodillos	8
Figura 8	La Relación de Solicitud-Respuesta y Maestro-Esclavo.....	11
Figura 9	Profibus.....	13
Figura 10	Conexión PROFIBUS Tester 4	14
Figura 11	Casa de la calidad	19
Figura 12	Diagrama del bus de datos industriales	20
Figura 13	Diagrama del proceso.....	22
Figura 14	Rodillo de arrastre.....	28
Figura 15	Bosquejo general del eje de transmisión	29
Figura 16	Esfuerzo cortante y momento flector, plano XY	31
Figura 17	Esfuerzo cortante y momento flector, plano YZ	31
Figura 18	Momento total	32
Figura 19	Bosquejo general del eje supresor.....	36
Figura 20	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, plano XY	36
Figura 21	Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, plano YZ	37
Figura 22	Momento total del eje supresor.....	37
Figura 23	Tipo de rodamiento seleccionado	40
Figura 24	Parámetros roladora	42
Figura 25	Distribución de cargas	46
Figura 26	Máxima tensión principal	47
Figura 27	Deformación total.....	47
Figura 28	Factor de seguridad	48
Figura 29	Bosquejo general del eje de guiado.....	48
Figura 30	Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante.....	49
Figura 31	Distribución de cargas	52
Figura 32	Deformación total.....	53

Figura 33	Máxima tensión principal	53
Figura 34	Factor de seguridad	54
Figura 35	PLC S7-1200 CPU1214C AC/DC/Relé.....	55
Figura 36	PLC S7-1200 CPU1212C AC/DC/Relé.....	56
Figura 37	Módulo de salidas analógicas Siemens SM 1232.....	57
Figura 38	Módulo de comunicación a) CM 1242-5 y b) CM 1242-5.....	57
Figura 39	Touch Panel KTP700 Basic HMI	58
Figura 40	Encoder incremental ENC11T24	59
Figura 41	Motor WEG W22 - IE1	60
Figura 42	Variador de frecuencia SV015iG5A-2.....	61
Figura 43	Variador de frecuencia SV008iG5A-1	62
Figura 44	Ensamblaje eje de transmisión y rodillos de arrastre.....	65
Figura 45	Ensamblaje lateral fijo y móvil, con volante y soportes.....	66
Figura 46	Mesa de arrastre de lámina	66
Figura 47	Rodillos de guiado	67
Figura 48	Mesa de guiado	68
Figura 49	Ensamblaje sistema de guiado y arrastre	69
Figura 50	Distribución tablero de control	70
Figura 51	Distribución tablero de control desbobinadora.....	71
Figura 52	Terminales ENC-1-1-T-24.....	71
Figura 53	Configuración Touch Panel.....	73
Figura 54	Diseño imagen principal.....	74
Figura 55	Diseño imagen mando manual	74
Figura 56	Diseño imagen mando automático.....	75
Figura 57	Implementación de un contador.....	76
Figura 58	Red Profibus	78
Figura 59	PLC Maestro	79
Figura 60	PLC Esclavo	79
Figura 61	Creación de Áreas de Transferencia	80
Figura 62	Creación de Tags dentro del Servidor OPC.....	81
Figura 63	Verificación conexión de Servidor OPC y PLC	81
Figura 64	Diagrama de Bloques de HMI	82
Figura 65	Panel Frontal de HMI.....	82
Figura 66	Configuración de Data Binding	83

Figura 67	Búsqueda de Tag a la que se va a vincular	83
Figura 68	Registro de cortes de chapa metálica.....	84
Figura 69	Conexión FastConnect	85
Figura 70	Velocidad de transmisión.....	87
Figura 71	Estado de la red Profibus DP.....	88
Figura 72	Cortes Manuales de 1030 mm.....	90
Figura 73	Cortes automáticos de 1030 mm	91

RESUMEN

Las empresas deben estar en constante perfeccionamiento e innovación tecnológica para el desarrollo de sus procesos, de esta manera aseguran mantener productos de alta calidad, permitiéndoles ser vanguardistas en el desarrollo de país. Por lo que el presente proyecto consiste en el diseño e implementación un sistema de corte automático de chapa metálica con HMI, mediante el análisis de los buses de datos industriales, para la producción en serie de la empresa Industria Metálica Cotopaxi. Se diseñó e implementó el sistema de arrastre y guiado de chapa metálica, a continuación se acopló a dicho sistema una desbobinadora, una roladora de tres rodillos y la cizalla de guillotina. Se estableció un control unificado para todas las máquinas, permitiendo tener un encendido y apagado general, de igual manera se realizó el diseño de un HMI amigable con el operario, se aseguró un fácil manejo del sistema de corte automático de chapa metálica y la visualización en tiempo real del proceso. Además con la implementación de un bus industrial, se logró manejar los datos que intervienen en el sistema de corte en tiempo real, conectar controladores con todos los dispositivos de entrada-salida, simplificar la instalación y operación de las máquinas a un bajo costo. De esta manera se obtuvo una reducción del tiempo de producción, y a la vez se incrementó la precisión y eficiencia con la que se cortaba manualmente la lámina de chapa metálica para la producción en serie.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA DE CORTE AUTOMÁTICO**
- **BUSES DE DATOS INDUSTRIALES**
- **PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN**

ABSTRACT

Businesses must be in constant improvement and technological innovation for the development of its processes, thus ensuring maintain high quality products, allowing them to be cutting edge in the development of the country. So this project is to design and implement an automatic cut system sheet metal with HMI, by analyzing industrial data buses for series production on "Industria Metálica Cotopaxi" Company. It was designed and implemented the drive system and guided sheet metal, then coupled to the system, the unwinder machine, the three-roll bending machine and guillotine shear. A unified system for all machines control was established, allowing to have an on-off generally equally designing a friendly HMI with the operator was made, easy operation of automatic metal sheet cutting and visualization secured in real-time process. In addition to the implementation of an industrial bus, it is achieved manage data involved in the court system in real time, connect drivers with all input-output devices, simplifying the installation and operation of the machines at a low cost. Thus a reduction in production time was obtained, and both the accuracy and efficiency with which the sheet is manually cut sheet metal for increased serial production.

KEYWORDS:

- **AUTOMATIC CUTTING SYSTEM**
- **INDUSTRIAL DATA BUSES**
- **COMMUNICATION PROTOCOLS**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En las últimas décadas, las tecnologías de comunicación industriales han evolucionado hacia un mundo interconectado de forma que el sistema de comunicación sea más eficiente y confiable, entregando plataformas como Modbus, Profibus, DeviceNet, ASI, Ethernet, entre otros, todos estos como solución física a las necesidades requeridas en un proceso. Sin embargo, cada una presenta características y restricciones propias, que no siempre se adecuan a los requisitos reales de cada empresa.

Por otro lado en la actualidad, el desarrollo tecnológico en el país y en las empresas se ve reflejado en la implementación de sistemas automáticos que poseen una comunicación mediante buses de datos. Con esta filosofía varias empresas han visto la necesidad de realizar un análisis minucioso de los buses de datos previo a la implementación de cualquier sistema automático.

El cizallado es un proceso repetitivo que se emplea para el corte de planchas metálicas, ocupando actualmente un lugar importante en el campo industrial. El proyecto planteado busca resolver un problema complejo, como es el de eliminar la fuerza humana para el accionamiento automático de la máquina, manteniendo la uniformidad de las características dimensionales y propiedades mecánicas de las láminas metálicas.

Considerando que la empresa ha crecido notablemente en los últimos años en cuanto a maquinaria de avanzada tecnología y ha visto necesaria la implementación a futuro, de más procesos repetitivos en línea; surge la necesidad de crear un sistema de corte automático mediante el análisis de los buses de datos industriales, en la Empresa "INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI".

Es importante que las industrias busquen su crecimiento continuo, mediante la implementación de procesos que permitan una mayor producción a menor costo.

1.2. Estado del arte

En la actualidad la tecnología y la automatización forman parte de grandes industrias, permitiendo la integración de varios procesos repetitivos. El diseño del sistema de corte de chapa metálica automático tiene como finalidad el corte y rolado de bobinas de chapa metálica en el entorno industrial.

A continuación se describen algunos trabajos relacionados que posteriormente servirán para un análisis de diseño del presente proyecto.

- **“Diseño y construcción de una cortadora de flejes de acero de gano no orientado”. Escuela Politécnica Nacional. Quito 2011.**

La meta de este proyecto es la construcción de una cortadora de flejes de acero que realice de forma automática los cortes de lámina ajustada por el operador, para esto se indica a la máquina las dimensiones de corte y la cantidad de láminas que se necesita.

Se ha llevado a cabo el diseño y construcción de la cortadora de flejes, siendo 300kg la capacidad máxima del proceso de alimentación, además el sistema permite la fácil colocación y extracción del fleje.

Las características del fleje que se cortan, son las siguientes: 0.5 mm de espesor y 100 mm de ancho, en cuanto a las longitudes de corte al cual va a estar regulado el sistema es de 70, 100 y 150 mm.

Las láminas cortadas sirven para la fabricación de los transformadores, debido a esto la precisión de los cortes es muy importante. De los resultados obtenidos con las tres longitudes mencionadas anteriormente la tolerancia máxima de error en los cortes realizados por este sistema es de ± 1 mm.

En las Figuras 1, 2 y 3 se puede apreciar todo el proceso de la cortadora de flejes.



Figura 1 Soporte para el carrete de fleje

Fuente: (Martínez Sarmiento & Ramíres Portero, 2011)



Figura 2 Rodillos para la parte de alineación

Fuente: (Martínez Sarmiento & Ramíres Portero, 2011)



Figura 3 Sistema de medición y corte

Fuente: (Martínez Sarmiento & Ramíres Portero, 2011)

- **“Diseño e implementación de un módulo didáctico para un proceso de corte transversal y transporte de papel controlado y supervisado desde un sistema SCADA diseñado en LABVIEW”. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Guayaquil 2015.**

Este documento presenta el diseño de un módulo didáctico del proceso de corte de papel, en donde la longitud de corte se realiza mediante el control de velocidad y posición de los motores de paso. Por medio del sistema SCADA diseñado en LABVIEW se realizan los ajustes de los datos de velocidad, posición, longitud, número de cortes y además se visualiza el estado de operación en el que se encuentra los sensores y actuadores eléctricos instalados.

El objetivo principal de este trabajo es complementar los conocimientos teóricos impartidos por los docentes a los estudiantes de la universidad politécnica salesiana.

Al final de este proyecto se logró un resultado satisfactorio en el fortalecimiento de conocimientos teóricos de los estudiantes ya que el módulo didáctico implementado, frecuentemente se lo encuentra en industrias que realizan cortes de láminas de acero los cuales difieren en tamaño, pero básicamente el principio de la tecnología del control de velocidad y posicionamiento es el mismo.

La Figura 4 muestra una vista general del módulo didáctico para un proceso de corte transversal y transporte de papel.



Figura 4 Módulo didáctico de corte

Fuente: (Rivadeneira Jordán, 2015)

1.3. La empresa

INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI es una Empresa Ecuatoriana dedicada a la fabricación de paneles, forjados y troquelados con diseños modernos y vanguardistas, además cuenta con la línea Hornipan y Ecuallimpio, utilizando tecnología y mano de obra calificada al servicio del país, la materia prima que utiliza este sector son láminas de acero, producto principal e indispensable para la elaboración de la mayor parte de los productos antes mencionados.

La misión y la visión de esta empresa se detallan a continuación:

Misión: Industria Metálica Cotopaxi, es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos industriales a nivel nacional; a través de la utilización de maquinaria de punta, mano de obra calificada y la utilización de insumos de calidad. Aplicando una filosofía empresarial de mejoramiento continuo, sustentada en su liderazgo, innovación y conducta ética.

Visión: Ser la empresa líder en la fabricación y comercialización de productos industriales a nivel nacional, impulsando el desarrollo regional, y mundial a través de nuestros productos e innovaciones tecnológicas.

1.3.1. Área al que va dirigido el proyecto

El proyecto titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CORTE DE CHAPA METÁLICA AUTOMÁTICO CON HMI, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS BUSES DE DATOS INDUSTRIALES, PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA EMPRESA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI” va dirigido al área de paneles, este sector de la empresa tiene como objetivo, impregnar diseños únicos a las láminas de metal que previamente han sido cortadas siguiendo una serie de pasos.

Este espacio de producción cuenta con una cizalla guillotina, roladora y desbobinadora para el proceso de corte, cada una de estas máquinas están en perfecto estado y funcionan de forma individual, para alcanzar la meta planteada. En la causa antes mencionada es en donde el proyecto se ve

inmerso y toma importancia, puesto que el sistema planteado une las máquinas mencionadas, permitiéndolas trabajar en conjunto.

1.3.2. Proceso de corte

El proceso de corte de láminas de metal da inicio a la producción de distintos modelos de paneles, ya que se obtienen piezas de chapa metálica de diferente medida, dependiendo de los requerimientos que se presentan en el área de producción.

En dicho proceso, se requiere obligatoriamente la presencia de dos operarios; en ocasiones se debe detener los cortes de láminas de metal, debido a la ausencia de uno de los trabajadores por orden de algún superior del área de producción, impidiendo tener un desarrollo continuo del corte de chapa metálica.

Por las causas mencionadas con anterioridad, en promedio se procesan 4 bobinas de chapa metálica en un ciclo diario de trabajo.

1.4. Componentes del sistema de corte existentes en la empresa

Los componentes del proceso manual de corte son indispensables para proveer de materia prima a los puestos de trabajo, donde se realiza la impregnación de diseños a la lámina de metal (panelados), estos componentes requieren de una fuente de alimentación de 220 trifásica, se detallan las características necesarias para la elaboración del proyecto.

1.4.1. Cizalla de guillotina

La cizalla de guillotina que posee esta área es empleada para el corte de láminas metálicas o chapa metálica, la misma es de marca COLLADO que permite ingresar láminas con un ancho máximo de 1030 mm y 4 mm de espesor, como se indica en la Figura 5.



Figura 5 Cizalla de guillotina

1.4.2. Desbobinadora Móvil

La desbobinadora desenrolla las bobinas de metal y de esta manera proporciona material para el corte en la cizalla. Se tiene disponible una desbobinadora de marca MILANO, el peso máximo que soporta es de 1000 Kg. Distribuye el material a una velocidad de 5m/min. Como muestra la Figura 6.



Figura 6 Desbobinadora móvil

1.4.3. Roladora

La roladora tienen la función de aplanar el material una vez que este ha sido cortado, La figura 7 muestra una roladora de tres rodillos mecánica, la misma que ha sido fabricada en la empresa y posee un motor de 1HP.



Figura 7 Roladora de tres rodillos

1.5. Buses de datos industriales

El enlace entre los distintos elementos de la planta y la migración de la información hacia otros niveles de la pirámide de comunicaciones admite soluciones en el área analógica y digital que es necesario conocer cuando se diseña una determinada infraestructura de redes. La utilización de máquinas programadas para las tareas de transmisión y recepción de la información del proceso se ha generalizado (Peña, Gámiz Caro, & Grau i Saldes, 2003).

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información por un sólo cable de comunicación que resuelve enormemente la instalación y operación de máquinas y equipos industriales utilizados en el proceso de producción (Salazar Serna & Correa Ortiz, 2011). La Tabla 1 muestra ciertas características y ventajas de los buses.

Tabla 1
Características y ventaja de los buses

Servicios que debe proporcionar	Ventajas respecto a otros sistemas de comunicación
<ul style="list-style-type: none"> • Respuesta rápida a mensajes cortos. • Alta fiabilidad del método de señalización y del medio. • Una red mantenible y ampliable por el personal de la planta. • Una red que pueda ser conectada al sistema de comunicaciones principal de la empresa. • Conectividad a diferentes componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del cableado. • Mayor precisión. • Diagnóstico de los instrumentos de campo. • Transmisión digital. • Calibración remota. • Mecanismos fiables de certificación. • Reducción del ciclo de puesta en marcha de un sistema. • Operación en tiempo real.

Fuente: (INFOPLC.NET, 2007)

1.5.1. Medios de transmisión

(Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013), argumentan que dentro de los medios de transmisión existen dos grupos importantes, los cuales son: medios guiados y medios no guiados.

a. Medios guiados

Su transmisión se basa a la circulación de ondas electromagnéticas a través de conductores físicos, dos de ellos tienen la capacidad de cubrir grandes distancia, transportando datos con mayor ancho de banda y siendo inmunes a interferencias.

b. Medios no guiados

Su medio de transmisión es la atmosfera, donde la comunicación está ligada a la propagación de ondas de radio, también se puede encontrar inmerso un satélite de comunicaciones cuya función es repetir un enlace terrestre de microondas.

1.5.2. Modos de transmisión de datos según las líneas empleadas

Según (Rodríguez Penin, Comunicaciones Industriales, 2008) presenta la configuración en serie y paralelo, las mismas que son básicas de los

sistemas de comunicaciones desde el punto de vista del tipo de transmisión de datos y la estructura de interconexión de la red.

1.5.3. Tipos de redes según forma

La Topología define la disposición de los diferentes equipos alrededor del medio de transmisión de datos, determinando unas estructuras de red características (Rodríguez Penin, Comunicaciones Industriales, 2008):

- Redes Centralizadas (Clustered Systems): Todos los equipos están sujetos a un equipo central (Host) que controla todo el sistema. El Host debe ser un equipo potente para gestionar el tráfico de datos con eficiencia. El fallo de un Terminal no afecta al funcionamiento de la red, pero si el fallo es en el Host, se paraliza todo.
- Redes Distribuidas (Distributed Systems): En este tipo de red, los equipos pueden ser máquinas sencillas que comparten las cargas de trabajo, los recursos y comunicaciones. El fallo de un Terminal no afecta al resto de equipos.

Las redes centralizadas se basan en la potencia de un único equipo y las redes distribuidas se basan en la distribución de los equipos, menos potentes, pero con mucha más capacidad de maniobra, pues son más tolerantes a fallos. Se dice también que, por este motivo, tienen un nivel de inteligencia mayor que las configuraciones centralizadas. Hay varias configuraciones básicas:

- Anillo
- Estrella
- Bus
- Árbol
- Red

1.6. Bus industrial Modbus

Es un protocolo desarrollado por Modicon en 1979, utilizado para establecer comunicaciones Maestro-Esclavo y Cliente-Servidor entre dispositivos inteligentes y con dispositivos de campo. Transmitir señales

digitales, analógicas y registros entre ellos, o monitorizar dispositivos de campo (Rodríguez Penin, Comunicaciones Industriales, 2008).

El protocolo industrial Modbus fue originalmente implementado como un protocolo a nivel de la aplicación para transferir datos en una capa serial. Hoy en día, es un protocolo común usado por innumerables dispositivos para comunicación simple, confiable y eficiente en una variedad de redes modernas (National Instruments, 2014).

1.6.1. Modos de transmisión

El protocolo Modbus sigue una arquitectura de maestro y esclavo, en la que un maestro transmite una solicitud a un esclavo y espera la respuesta, como muestra la Figura 8. Esta arquitectura brinda al maestro control completo sobre el flujo de información, lo cual tiene beneficios en redes seriales multipunto más viejas (National Instruments, 2014).

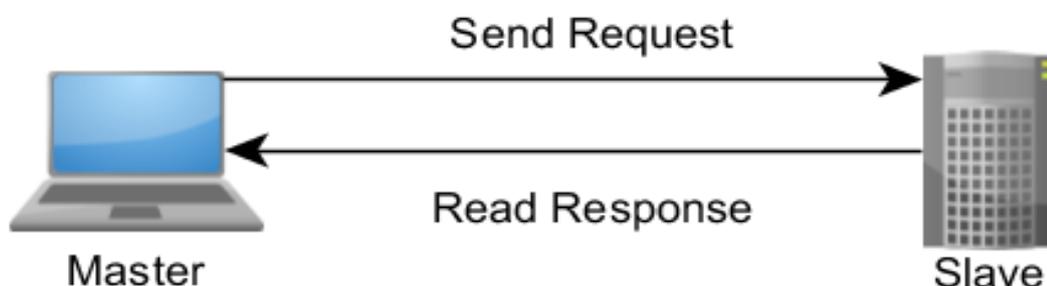


Figura 8 La Relación de Solicitud-Respuesta y Maestro-Esclavo

Fuente: (National Instruments, 2014)

En Modbus, esta solicitud es un conjunto de datos en capas. La primera capa es la unidad de datos de la aplicación (ADU), la cual es lo que la mayoría de las personas consideran que es el "tipo" de Modbus usado. Existen tres ADUs:

- ASCII
- Unidad de terminal remota (RTU)
- TCP/IP

En cada ADU, existe una unidad de datos de protocolo (PDU) que es el núcleo del protocolo Modbus. Cada PDU contiene un código de función y

datos asociados. Cada código de función tiene una respuesta bien definida y se puede pensar en este código de función como el comando que ha sido enviado al esclavo.

A continuación se presenta el resumen de los 3 modos de transmisión de Modbus, mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2

Resumen Modbus

Denominación	Modbus RTU/ASCII, Modbus Plus, Modbus TCP/IP
Soporte	Modbus-IDA
Cuentas	
Topología	bus, estrella, árbol
Medio	Par trenzado, RS-232, RS-485
Elementos	Modbus Plus: 32 nodos por segmento y 64 segmentos. RTU/ASCII: 250 nodos por segmento
Distancia	Modbus Plus: 500 m. por segmento. RTU/ASCII: 350 m. TCP/IP: 100 m. en switches
Comunicación	Maestro/Esclavo o Cliente/Servidor
Velocidad	Modbus Plus: 1 Mb/s RTU/ASCII: 300 b/s-38.4 kb/s TCP/IP: 100 Mb/s
Datos/paquete	Modbus Plus: variable RTU/ASCII: 0-254 bytes TCP/IP: 1500 Bytes
Tiempo de ciclo	

Fuente: (Rodríguez Penin, Comunicaciones Industriales, 2008)

1.7. Bus industrial Profibus

Profibus es un estándar de bus de campo abierto y universal en serie, en el que controladores descentralizados inteligentes pueden ser conectados entre sí (PROFIBUS DP), además permite establecer una comunicación entre el sistema de automatización y los dispositivos que se encuentran instalados en el campo, de esta manera permitiendo a la vez una comunicación y alimentación simultánea de transmisores y actuadores (PROFIBUS PA), como muestra la Figura 9.

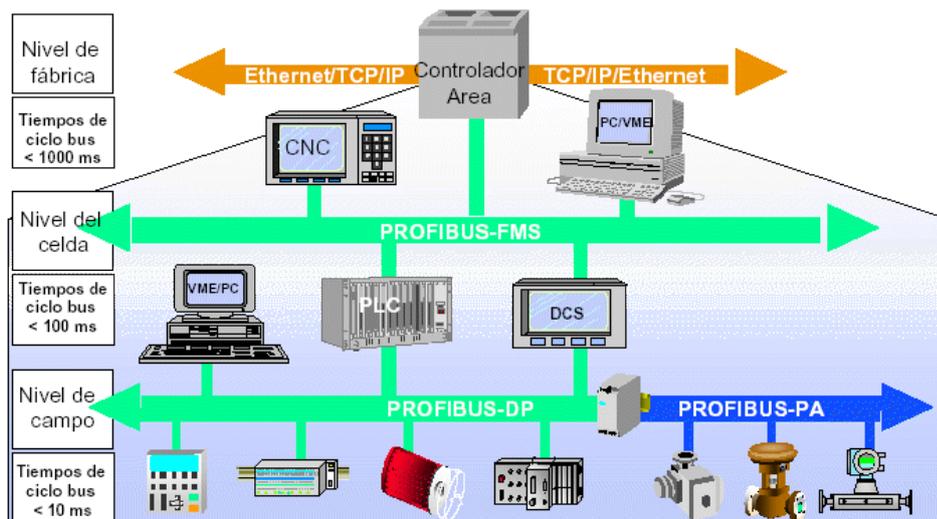


Figura 9 Profibus

Fuente: (Vásquez López, 2005)

(Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009) y (ETS de Ingenieros Industriales, 2011) hacen mención a tres perfiles distintos de Profibus: FMS, DP y PA, las características de cada uno de ellos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Resumen protocolo Profibus

	PROFIBUS FMS	PROFIBUS DP	PROFIBUS PA
Comunicación	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo
Soporte	Fibra óptica/par trenzado	Fibra óptica/par trenzado	Fibra óptica/par trenzado
Utilización	Célula	Campo	Campo / célula
Equipos que se pueden conectar	Equipos de campo, PG/PC, PLC.	Equipos de campo, accionamientos, válvulas, OP's, PG/PC.	Equipos de campo, accionamientos, válvulas, OP's, PG/PC, PLC.
Tiempo de reacción	1-5 ms	Menor de 60ms	Menor de 60ms
Distancia	Sobre 100 km	Sobre 100 km	Máx. 1.9 Km
Velocidad	9.6Kbits/s 1,5 Mbits/s	9.6Kbits/s 12 Mbits/s	31,25Kbits/s
Máx. dispositivos	127/segm	127/segm	14400/segm

1.8. Analizador de Protocolos de Comunicación de Datos

Un analizador de protocolos es una herramienta que permite desarrollar y perfeccionar protocolos y aplicaciones de red. Es capaz de permitirle al

ordenador capturar diferentes tramas de red para analizarlas, ya sea en tiempo real o después de haberlas capturado. Es así que, el usuario puede ver todo aquello que en un determinado tiempo está circulando por la red que se está analizando.

1.8.1. Analizador de protocolos Profibus Tester 4

El analizador PROFIBUS Tester 4 es una herramienta de diagnóstico y solución de problemas de gran alcance para la medición de las señales y el análisis de la comunicación de redes PROFIBUS. También puede examinar el bus de campo, incluso si el PLC no está en funcionamiento (GmbH, 2011). La Figura 10 muestra la conexión del Analizador PROFIBUS Tester.

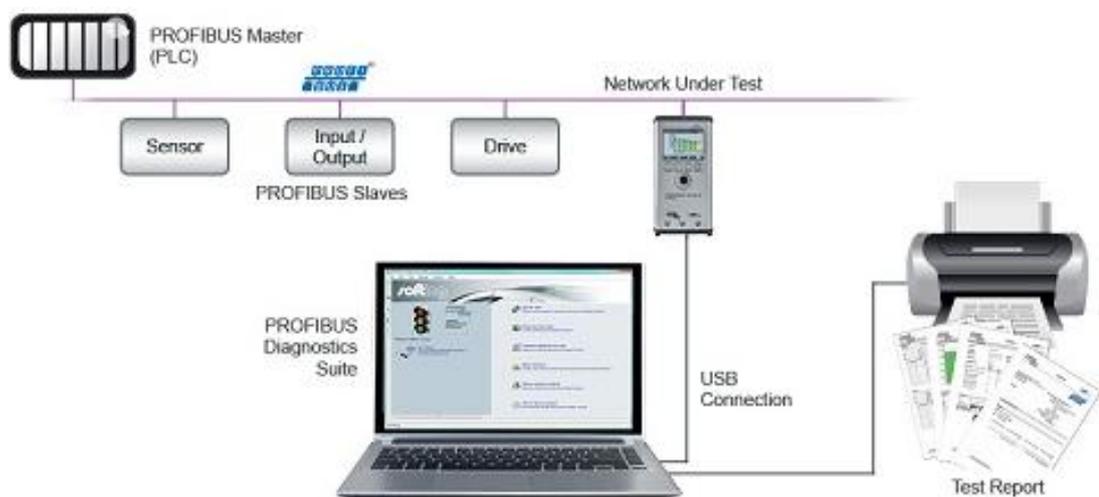


Figura 10 Conexión PROFIBUS Tester 4

Fuente: (GmbH, 2011)

Profibus Tester presenta las siguientes características:

- Análisis completo del Bus sin la necesidad de un ordenador portátil y sin un PLC operativo.
- Verificación del Bus durante el funcionamiento.
- Con una sola instrucción, tanto en modo PC o modo autónomo, da inicio a un examen completo de la red PROFIBUS.
- El software para PC ofrece muchas características adicionales para la ejecución, el análisis y la gestión de las pruebas de bus.
- Una barra de estado muestra continuamente el estado actual del bus.

- Elección entre la prueba rápida o prueba controlada por el usuario.
- La función de la topología de escaneo determina la longitud total del cable y la longitud del cable entre los esclavos.
- Presenta un informe detallado de las pruebas.
- La vista de tendencias a largo plazo se maneja para la detección de fallas esporádicas.

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

2.1. Introducción

El diseño de la ingeniería se ha definido como “el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permita su realización. El diseño puede ser simple o muy complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático; puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia.” (L. Norton, 2009)

El diseño implica procesos mutuamente relacionados de ingeniería, es por esto que para el diseño del sistema de corte automático de chapa metálica, se realizará bajo el criterio de diseño por calidad, en la cual se analizarán todos los parámetros que lo constituye.

2.2. Diseño por calidad

El sistema de corte automatizado de chapa metálica, se desarrolla en base al método y maquinaria del sistema existente dentro de la empresa, esta automatización se realiza con el fin de aumentar y mejorar la producción, de igual manera se busca optimizar recursos, disminuyendo tiempos de trabajo e incrementando el número de productos terminados.

Para el sistema se diseñará y construirá la parte mecánica, además se analizará y se implementará una red industrial, con el fin de mejorar el tiempo y la calidad del corte de chapa metálica, reducción del personal requerido durante el proceso de corte e integración de procesos en línea.

2.2.1. Casa de la calidad

Según (Vásquez López, 2005), la casa de la calidad o despliegue de la función de la calidad es una representación gráfica, que permite identificar y transmitir los atributos o requisitos del diseño de calidad que el cliente demanda, al mismo tiempo que transforma y asegura que la voz del cliente

sea transmitida en requerimientos técnicos de diseño para asegurar que las necesidades del cliente sean satisfechas.

2.2.2. Requisitos del cliente

Los requerimientos o la voz del cliente es el primer paso y considerado el más importante para el diseño el momento de realizar el despliegue de la función de la calidad, los requerimientos que se detallan a continuación es en base al criterio de la empresa INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI, en cuanto a la funcionalidad del sistema de corte:

- Que el proceso de corte sea preciso y rápido.
- Que el proceso de corte sea automatizado.
- Que el proceso de corte se disminuya en tiempo y mejore la producción.
- Que se requiera de menos operadores para el funcionamiento de la máquina.
- Que permita integrar procesos en línea.
- Que sea de fácil operación.
- Que sea de fácil mantenimiento.
- Que posea una interfaz amigable con el proceso y con el operador.
- Que procure la integridad del operador.

2.2.3. Requisitos técnicos

Luego que se obtienen y se analizan los requerimientos y necesidades del cliente, estos son traducirlos en requerimientos técnicos que a continuación son detallados:

- Interfaz Humano Máquina
- Sistema mecánico
- Tipo de materiales.
- Fiabilidad del protocolo de comunicación.
- Distribución del sistema.
- Nivel de automatización.
- Sistema de corte.

- Sistema de desbobinado.
- Precisión del corte.

2.2.4. Conclusión de la casa de la calidad

Una vez que se encuentren analizados los requerimientos técnicos de la empresa, a continuación se detalla las principales características y componentes que deberá tener el sistema de corte.

- Interacción del HMI: El HMI es uno de los factores muy importantes en el área de la automatización, el HMI es una de las formas de mantener el control del proceso y la fácil operación del mismo.
- Sistema mecánico: Las guías y los rodillos es la opción más viable para que de esta manera pueda solucionar el correcto y alineado, abastecimiento de material.
- Tipo de materiales: El acero para el diseño de elementos de máquinas es el material idóneo para la construcción del sistema mecánico.
- Fiabilidad del protocolo de comunicación: La comunicación debe ser adecuada y el tipo de protocolo idóneo para este ambiente de la industria es el Profibus.
- Distribución del sistema: La distribución más idónea de todo el sistema es lineal ya que posteriormente se requiere implementar más procesos en serie.
- Nivel de automatización: Se requiere un nivel de automatización muy alto debido a que se requiere la reducción de personal para la operación del sistema de corte.
- Sistema de corte, de desbobinado y precisión del corte: Para satisfacer este requerimiento estos sistemas deben estar muy bien sincronizados y muy bien censados.

Los aspectos y características descritos con anterioridad se encuentran íntimamente relacionados y son muy importantes para el correcto funcionamiento de todo el sistema de corte de chapa metálica, como indica la Figura 11.

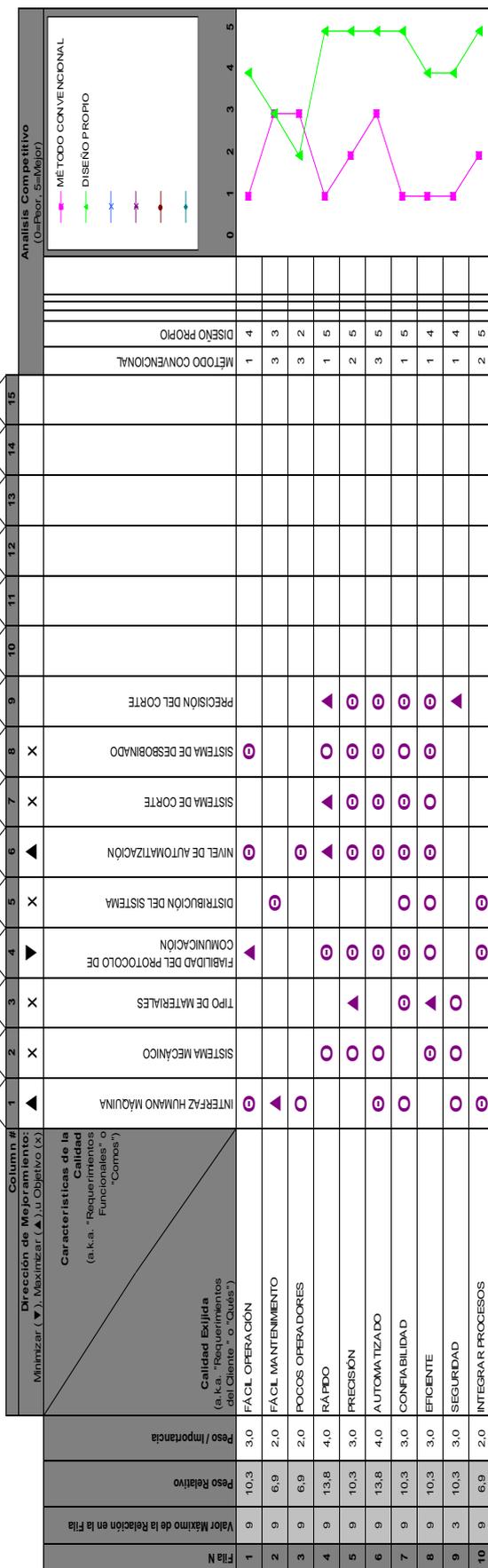
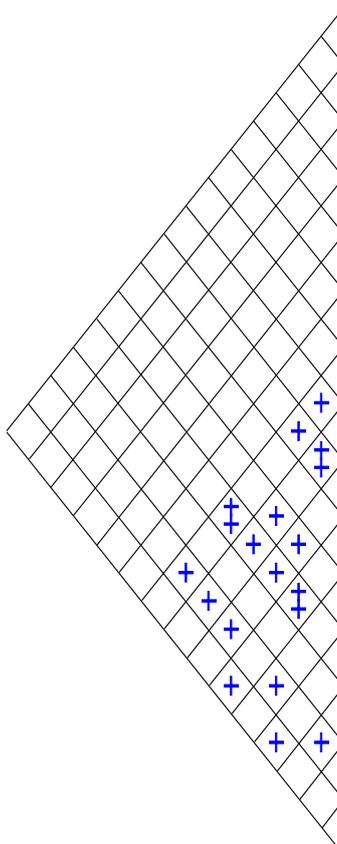
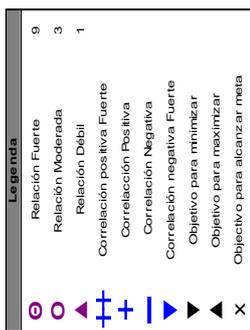


Figura 11 Casa de la calidad

Título: _____

Autor: _____

Fecha: _____

Notas: _____

2.3. Diseño conceptual

2.3.1. Especificaciones para el diseño

La necesidad de automatizar un sistema de corte de chapa metálica para la empresa “INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI”, pretende establecer una serie de requerimientos que se deben cumplir para llevar a cabo la solución a dicha necesidad. Con la ayuda del análisis de la casa de la calidad, se tienen definidas las metas a cumplir.

2.3.2. Principio básico de funcionamiento

Una vez presentadas todas las necesidades, se analiza el funcionamiento de la red industrial que va a ser implementada, se presentan así dos posibilidades generales y sus divisiones, es decir una red Modbus con protocolo RTU y TCP/IP y una red Profibus con protocolo CP y PA. En la Figura 9, se indica la relación que existe entre los 3 procesos del sistema que se va a automatizar (desbobinado, rolado y corte), los datos van a ingresar a un PLC esclavo en ambas alternativas, teniendo en cuenta que la red Profibus necesariamente requiere un módulo de comunicación, lo que no ocurre con la red Modbus TCP, ya que esta presenta mayor complejidad en la parte de programación. Todo este proceso para el manejo de datos, es controlado por un PLC maestro en ambos casos, con la diferencia ya presentada anteriormente para el caso de la red Profibus, como muestra la Figura 12.

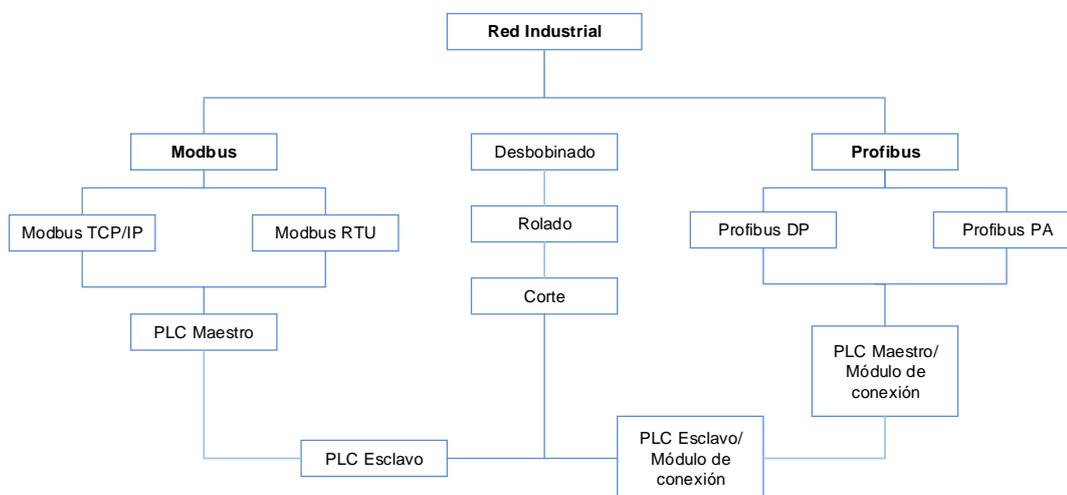


Figura 12 Diagrama del bus de datos industriales

De igual manera, se presenta el diagrama del proceso en la Figura 13, en el que se describe paso a paso y de forma secuencial el funcionamiento del sistema de corte de chapa metálica, el primer proceso a ejecutar es la colocación de la materia prima en la desbobinadora, debido al peso de esta, se lo realiza con la ayuda de un montacargas. Posteriormente se guía la chapa metálica hasta un tope fijo, el mismo que actúa como punto de inicio para el conteo de cortes. Se aclara que este proceso no cuenta con un control, por tal motivo es netamente manual, hasta el instante en que el operario compruebe que la chapa metálica se encuentra en el tope. En ese instante da inicio el proceso de corte automático, con el ingreso de la longitud de cada corte y el número de piezas requeridas, a través de la interfaz humano-máquina, una vez terminado el proceso el operario puede retirar las láminas cortadas.

Se tiene claro que el diseño del sistema de control, así como la implementación del bus industrial tienen un grado de dificultad considerado alto, de tal manera se plantea la necesidad de diseñar un HMI que sea amigable con el operario, así también la presencia de alarmas en caso de un mal funcionamiento de cualquiera de los elementos que conforman el sistema, evitando tener dificultades con el proceso de corte y optimizar recursos.

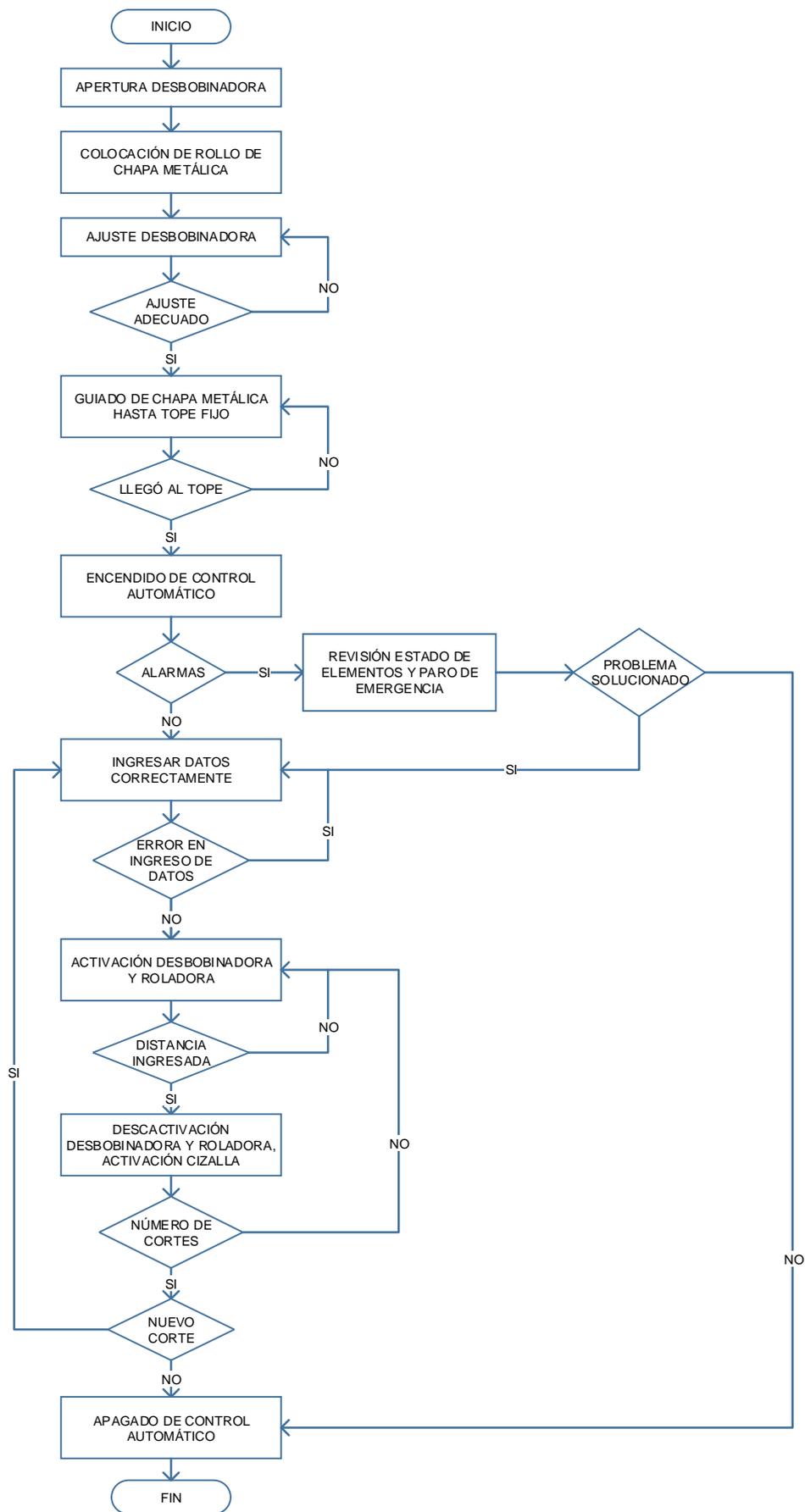


Figura 13 Diagrama del proceso

2.3.3. Matriz morfológica

Una vez detalladas las necesidades y los procesos que requieren ser llevados a cabo, se procede a la construcción de la matriz morfológica, en la que se detallan las posibles alternativas que van a ser consideradas para el desarrollo del proyecto. Se requiere la elaboración de una matriz morfológica individual para cada una de las partes del proceso, de esta manera se puede comparar una a una las alternativas.

Tabla 4

Matriz morfológica red industrial

Parte:		Red Industrial			
Alternativa	Modbus		Profibus		
	Modbus TCP/IP	Modbus RTU	Profibus DP	Profibus PA	
Ventaja	Escalable, fácil administración y extensión, no tiene software propietario, alto desempeño, bajo costo de implementación, capacidad máxima de 240 nodos, 100 Mb/s.	No tiene software propietario, bajo costo de implementación, 250 nodos por segmento, 350 m.	Conexiones con múltiples maestros, transmisión rápida de datos, independencia de proveedor, menor complejidad de programación, distancia máxima de 100 Km.	Transmisión rápida de datos, 14400 segmentos, múltiples maestros, no tiene propietario, diseñado para trabajar en control de procesos de seguridad intrínseca.	
Desventaja	Programación compleja, un solo maestro, distancia máxima 100 m.	Programación compleja, un solo maestro.	Capacidad de 32 nodos sin el uso de repetidores, 127 segmentos, alto costo de implementación.	Distancia máxima de 1.9 Km, alto costo de implementación.	

Para el análisis del bus industrial que va a ser implementado, se analizan varios aspectos, los mismos que dependen de los requerimientos establecidos por la empresa. Se procede a comparar entre dos alternativas posibles, teniendo a consideración características como: costo de implementación, velocidades de transmisión de datos, distancias máximas a las que puede trabajar sin problemas, complejidad en la programación, protocolos, entre otras, como muestra la Tabla 4.

Para el diseño de la estructura así como los rodillos de arrastre, se toma en cuenta cuatro materiales, dos alternativas son consideradas apropiadas

para el diseño estructural y las dos restantes para el diseño de ejes en máquinas industriales, mostradas en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5

Matriz morfológica estructura y rodillo de arrastre

Parte:	Alternativa para Estructura		Alternativa para Rodillo de arrastre	
Alternativa	Acero ASTM A36	Acero ASTM A500	Acero AISI 1020	Acero AISI 1018
Ventaja	Buena soldabilidad, alta resistencia, disponibilidad en el mercado, bajo costo.	Mayor resistencia a la tracción, disponibilidad en el mercado, bajo costo, disponible en perfiles redondo cuadrado y rectangular.	Acero de máquina, alta tenacidad, buena maquinabilidad, buena soldabilidad, resistencia al desgaste.	Buena soldabilidad, ligeramente mejor maquinabilidad, alta tenacidad. Menor costo que el acero AISI 1020.
Desventaja	Propenso a la oxidación, susceptible al pandeo, acero estructural.	Propenso a la oxidación, acero estructural.	Baja resistencia, propenso a la oxidación, alto costo.	Baja resistencia mecánica, propenso a la oxidación.

Tabla 6

Matriz morfológica para el movimiento de rodillos

Parte:	Movimiento de rodillos	
Alternativa	Motor AC + variador de frecuencia	Servomotor
Ventaja	Fácil mantenimiento, alta revolución, máxima potencia, fácil control de velocidad, alto par de torsión, bajo costo.	Alto torque, bajo consumo de energía, alta precisión, control proporcional, compacto.
Desventaja	Tendencia al recalentamiento, produce interferencias electromagnéticas.	Difícil control de velocidad, limitación de giro de 0° a 180°, alto costo.

En cuanto a la selección de los equipos electrónicos, se toma a consideración que el campo de trabajo es industrial, por tal razón estos dispositivos deben presentar características conformes al campo de trabajo. Las alternativas se presentan en las Tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7

Matriz morfológica sensor de distancia

Parte:	Sensor de distancia	
Alternativa	Encoder absoluto	Potenciómetro lineal
Ventaja	Marco de referencia propio, se define un punto de inicio, reconoce su posición actual, salida digital, inmune a interferencias.	Fácil montaje, múltiples aplicaciones, alta resolución y repetitividad, bajo costo.
Desventaja	Alto costo, una sola codificación.	Salida analógica, distancia limitada.

Tabla 8

Matriz morfológica de controlador

Parte:	Controlador		
Alternativa	PLC	CPU/PC	Tarjeta arduino
Ventaja	Fácil instalación, bajo costo, compacto, flexibilidad, fácil programación, alta velocidad de operación.	Accesibilidad, alta velocidad de procesamiento, multi fabricante, bajo costo.	Bajo costo, programación simple, flexibilidad, software libre.
Desventaja	Mano de obra especializada, centraliza el proceso, condiciones ambientales apropiadas.	Poco inmune al ambiente industrial, susceptible a relentizarse.	No es apto para ambientes industriales.

Tabla 9

Matriz morfológica de medio de interfaz

Parte:	Medio de interacción entre humano y máquina		
Alternativa	PC	Tablero de control	TouchPanel
Ventaja	Flexibilidad, bajo costo, multi fabricante, grandes prestaciones.	Bajo costo de instalación, Fácil instalación.	Fácil programación, disminución de periféricos de entrada, amigable con el usuario.
Desventaja	Aislamiento y protección regular, adecuaciones extras.	Tamaño.	Frágil, mano de obra especializada, alto costo.

Una vez realizado el análisis de todas las posibles soluciones, se podrá establecer el diseño más adecuado para cumplir los requerimientos establecidos.

2.3.4. Matriz de evaluación

Analizando las alternativas establecidas en las matrices morfológicas para cada parte del proyecto, se elabora una matriz de evaluación, obteniendo la selección más idónea, conociendo los elementos que formarán parte del desarrollo del sistema.

Se toma en cuenta que la selección se realizó conforme los requerimientos que presentó con anterioridad la empresa. Es así que se entablaron varios criterios de evaluación, tanto para la selección de la red industrial y el sistema de corte automático, cada criterio con su respectivo peso para el análisis de la selección final.

Criterios para selección de la red industrial: velocidad (vel), distancia (dis), distribución (distr), costo (cos), fácil integración de procesos existentes (fip), presentados en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10
Matriz de evaluación redes industriales

	Alternativa	Criterios de evaluación					Total
		Vel 2.5	Dis 2.5	Distr 1.5	Cos 1	Fip 2.5	10
MODBUS	Modbus TCP/IP	2	0.75	1.1	0.9	2.1	6.85
	Modbus RTU	0.75	1	0.9	0.9	2	5.55
PROFIBUS	Profibus DP	2.3	2.5	1.4	0.2	2.3	9.30
	Profibus PA	2.3	1.75	1.2	0.5	2.2	7.95

Tabla 11
Matriz de evaluación del sistema de corte automático

	Alternativa	Criterios de evaluación						Total
		Cos 1.5	Dur 2	Seg 2	Fun 1.5	Mnt 1.5	Mf 1.5	10
Estructura	Acero ASTM A36	1.4	1.6	1.7	1.2	0.9	1.3	8.1
	Acero ASTM A500	1.4	1.8	1.8	1.2	0.9	1.3	8.4
Rodillo de arrastre	Acero AISI 1020	1.3	2	2	1.5	1.1	1.5	9.4
	Acero AISI 1018	1.4	2	2	1.5	1.1	1.5	9.5

CONTINÚA 

Movimiento de rodillos	Motor AC	1.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	9.2
	Servomotor	0.6	1.1	1.9	1.1	0.8	1.4	6.9
Sensor de distancia	Encoder absoluto	0.7	1.8	2	1.4	0.9	1.1	7.9
	Potenciómetro lineal	1.3	1.3	1.6	1.3	0.8	1.3	7.6
Controlador	PLC	0.6	2	2	1.5	1.3	1.5	8.9
	CPU/PC	1.1	1.3	1.5	1.3	1.2	1.4	7.8
	Tarjeta arduino	1.5	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	5.3
Medio de interfaz	PC	0.9	1.6	1.9	1.5	1.2	1	8.1
	Tablero de control	1.4	1.9	1.7	0.9	1.4	0.9	8.2
	Touch Panel	0.7	1.9	1.9	1.5	1.4	1.3	8.7

Es así que debido a varios factores, los elementos y materiales que van a ser utilizados están enmarcados cumpliendo el mayor valor en base a los parámetros establecidos y se presentan en las Tabla 10 y 11, los mismos que dan una idea del funcionamiento del proyecto desarrollado en su totalidad.

2.4. Diseño del sistema mecánico

Para iniciar con el diseño del sistema de rolado y arrastre de chapa metálica se establecen parámetros de referencia con respecto a la cizalla los mismos que se encuentran detalladas en la Tabla 12.

Tabla 12

Parámetros útiles

DETALLE	VALOR
Altura de la mesa de corte	800 [mm]
Ancho de la mesa útil de corte	1350 [mm]

Para este diseño se dispone de una longitud no restringida, donde se ubicarán de forma correcta los componentes a diseñar.

2.4.1. Diseño del mecanismo de arrastre de lámina

El mecanismo de arrastre de lámina es fundamental en la automatización del sistema de corte de chapa metálica, mismo que se encarga del

abastecimiento de la lámina de metal a la roladora y posterior a este mecanismo es ingresada a la cizalla de corte, para la obtención del producto final que en este caso es la lámina cortada a una medida seleccionada.

El mecanismo de arrastre consta de dos ejes el uno supresor y el otro de transmisión, además cuenta con rodillos de arrastre los mismos que están ubicados en los ejes antes mencionados y se encuentran en contacto con la lámina de metal, permitiendo de esta manera el traslado de lámina de metal.

El mecanismo de arrastre de lámina debe girar a la misma velocidad que la roladora, para que el abastecimiento de lámina sea el adecuado y de esta manera descartar una posible colisión entre estos dos mecanismos, es por ello que se enlazan los dos mecanismos antes mencionados por medio del sistema cadena piñón.

a. Modelado del rodillo de arrastre

Para el diseño del rodillo de arrastre se consideró el diámetro del eje al cual va montado de 50.8 mm, además con una superficie de contacto de 50mm para un arrastre efectivo, como muestra la Figura 14.

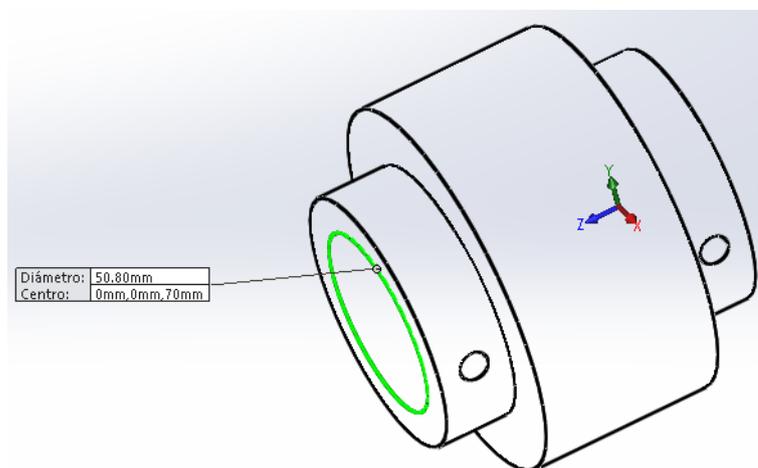


Figura 14 Rodillo de arrastre

b. Diseño del eje de transmisión

En la Figura 15 se muestra un bosquejo general del eje con sus componentes, misma que servirá para el análisis.

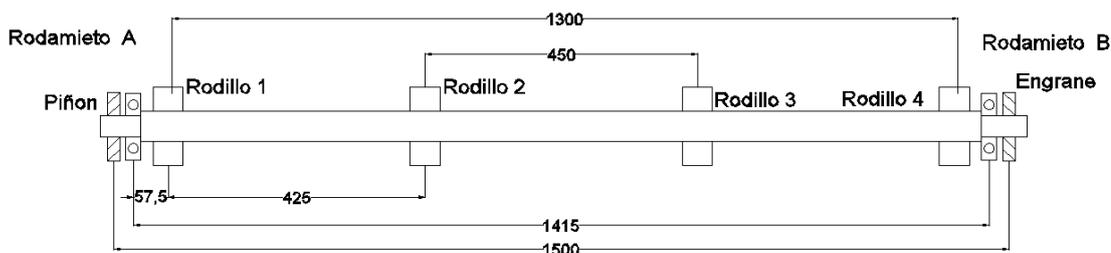


Figura 15 Bosquejo general del eje de transmisión

La potencia del motor es transmitida en primera instancia a la roladora, posteriormente al mecanismo de arrastre, de este modo los dos mecanismos cuentan con la misma potencia y velocidad, se considera un motor de 1 HP a una velocidad estimada de 100rpm.

Se calcula el torque producido por el motor a mediante la (Ec. 1).

$$T_m = \frac{P}{n} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

T_m = Momento torsionante del motor (Nm)

P = Potencia ($Watt$)

n = velocidad angular ($\frac{rad}{s}$)

Sustituyendo valores de potencia y velocidad angular en la (Ec. 1), se tiene:

$$T_m = \frac{1HP * \frac{745.7Watt}{1HP}}{100 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi}{1 rev} * \frac{1min}{60 s}}$$

$$T_m = 71.14 Nm$$

El mecanismo roladora – arrastre tiene una relación de movimiento de 1 a 1, por lo que actúa una fuerza perpendicular al eje, esto se calcula mediante la (Ec. 2).

$$F = \frac{T_m}{r} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

F = Fuerza en (N)

T_m = Torque producido por el motor en el eje (Nm)

r = Radio comprendido (m)

Reemplazando los valores en la (Ec. 2), para el piñón, los rodillos y el engrane se tiene los siguientes resultados:

$$F_{pz} = \frac{71.14 Nm}{0.076m}$$

$$F_{pz} = 936.05 N$$

$$F_{r1x} = \frac{71.14 Nm}{0.0508m}$$

$$F_{r1x} = 1400.4 N = F_{r2x} = F_{r3x} = F_{r4x}$$

$$F_{pz} = \frac{71.14 Nm}{0.054m}$$

$$F_{pz} = 1317.4 N$$

El engrane tiene un ángulo de presión de 20^0 , un radio de 54 mm, de manera que tiene dos componentes radial y tangencial, calculados a continuación:

$$F_{tangencial z} = \frac{71.14 Nm}{0.054m}$$

$$F_{tangencial z} = 1317.4 N$$

$$F_{radial x} = (1317.4 N) \tan 20$$

$$F_{radial x} = 479.49 N$$

Posteriormente con la ayuda del software MDSolids, se determina el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, para el plano XY e YZ, presentados en las Figuras 16 y 17 respectivamente.

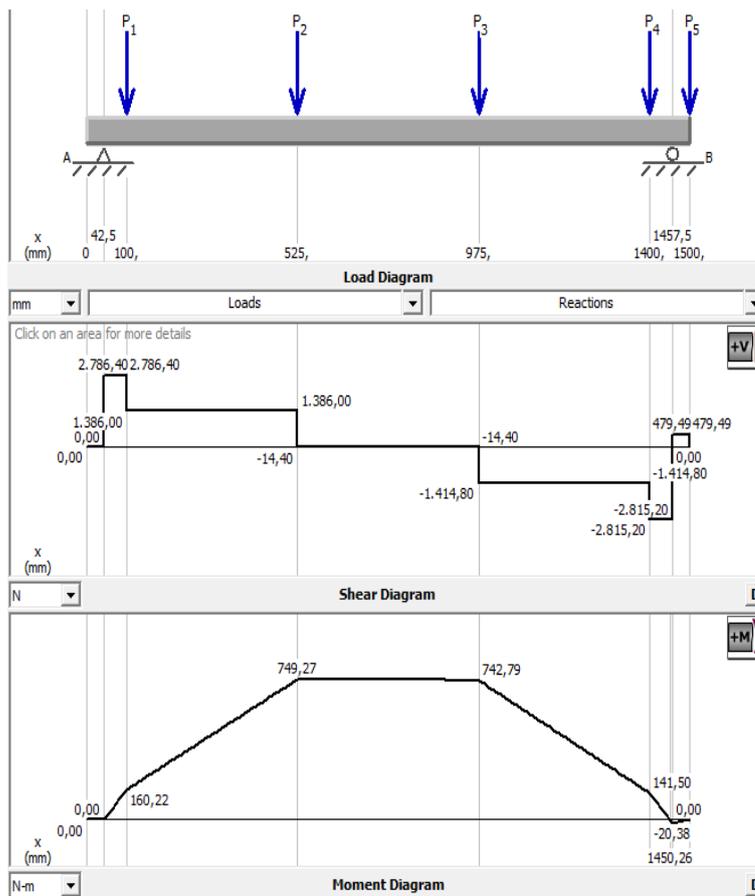


Figura 16 Esfuerzo cortante y momento flector, plano XY

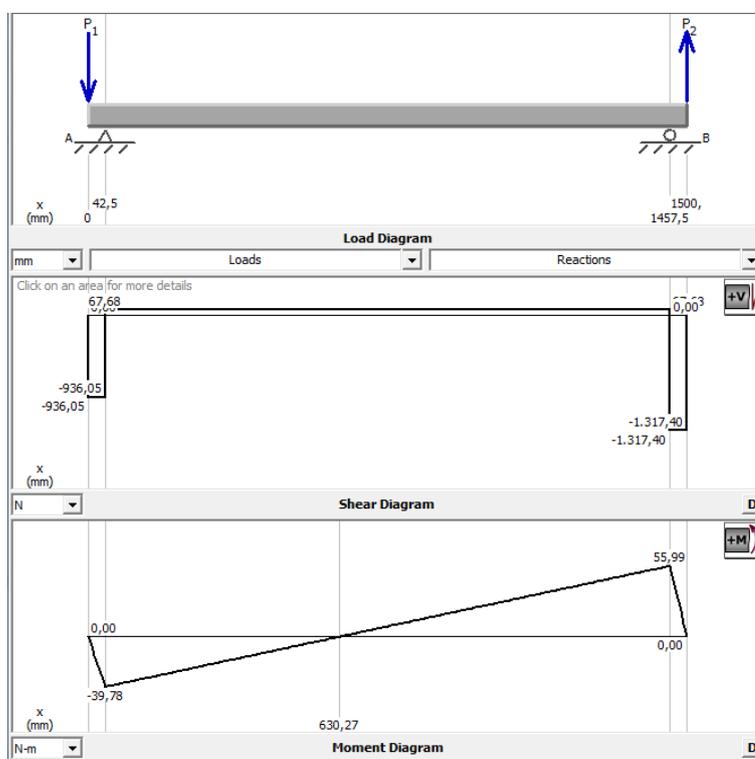


Figura 17 Esfuerzo cortante y momento flector, plano YZ

Al combinar los planos ortogonales se obtienen los momentos totales que intervienen en el eje, esta representados en la Figura 18.

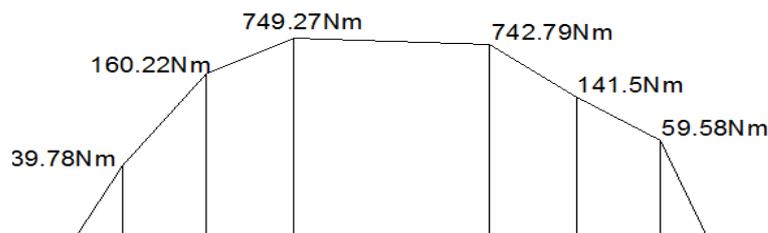


Figura 18 Momento total

La fórmula para la combinación de planos ortogonales viene dada por la (Ec. 3).

$$M_t = \sqrt{M_x^2 + M_z^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Reemplazando en la (Ec. 3), a continuación se tiene un ejemplo de combinación de planos ortogonales:

$$M_t = \sqrt{(-20.38)^2 + (55.99)^2}$$

$$M_t = 59.58Nm$$

b.1. Límite de resistencia a la fatiga

Según (Budynas & Nisbett, 2008), en el caso de los aceros se estimará el límite de resistencia mediante la (Ec. 4).

$$S'_e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga en probeta rotativa.

S_{ut} = Resistencia a la tensión mínima.

De la ecuación (Ec. 4) se selecciona la primera opción para determinar límite de resistencia a la fatiga debido a que $S_{u \text{ AISI } 1018} = 440 \text{ MPa}$, ver en el ANEXO A, de donde se obtiene que:

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0.5 (440 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 220 \text{ MPa}$$

b.1.1. Factores que modifican al límite de resistencia a la fatiga

Los efectos de la condición superficial, tamaño, carga, temperatura, se cuantifica, permitiendo ajustar el límite de resistencia a la fatiga por análisis estadístico con la (Ec. 5) denominada ecuación de Marín.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \frac{1}{K_f} S_e' \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

S_e Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometría y condición de uso.

S_e' Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

k_a Factor de modificación de la condición superficial.

k_b Factor de modificación del tamaño.

k_c Factor de modificación de la carga.

k_d Factor de modificación de temperatura.

k_e Factor de confiabilidad.

k_f Factor de modificación de efectos varios.

K_f Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca.

- El factor de superficie k_a

El factor de superficie viene dado por la (Ec. 6) la misma que depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión.

$$k_a = a S_{ut}^b \quad \text{Ec. 6}$$

Los valores a y b se obtienen de la tabla 6-2, ver ANEXO B, de donde $a = 4.51 \text{ MPa}$ y $b = -0.265$, reemplazando en la (Ec. 6) se tiene que:

$$k_a = (4.51)(440)^{(-0.265)}$$

$$k_a = 0.9$$

- El factor de tamaño k_b

El factor de tamaño depende de las condiciones que se detallan en la (Ec. 7).

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2\text{pulg} \\ 0.91d^{-0.107} & 2 \leq d \leq 10\text{pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51\text{mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254\text{mm} \end{cases} \quad \text{Ec. 7}$$

El diámetro del eje aún no se conoce por lo que se asume que es 1

- El factor de carga k_c

Se tiene $k_c = 1$ debido a que el análisis se realiza con carga de flexión rotatoria.

- El factor de temperatura k_d

La temperatura a la cual trabaja el eje es a una temperatura ambiente aproximadamente de 20°C , con lo cual se determina S_T/S_{RT} que es igual a 1, por ende es igual a $k_d = 1$, este valor se obtuvo de la tabla 6-4. ANEXO C.

- El factor de confiabilidad k_e

Los factores de confiabilidad se detallan en la tabla 6-5 del ANEXO D, para lo cual se selecciona un factor de confiabilidad del 99%, con lo cual se obtiene un valor de $k_e = 0.814$

- El factor de efectos varios k_f

Debido a que los valores reales de k_f no siempre están disponibles se considera un $k_f = 1$.

Obtenidos los valores de todos los factores se reemplaza y se resuelve la (Ec. 5)

$$S_e = (0.9)(1)(1)(1)(0.814)(1)(220 \text{ MPa})$$

$$S_e = 161.17 \text{ MPa}$$

Por último para el diseño del eje mencionado se utiliza el criterio de ED-Godman, detallada en la (Ec. 8).

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\left(\frac{2(K_f M_a)}{S_e} \right) + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad \text{Ec. 8}$$

El análisis se realiza en el hombro del rodamiento B mostrado en la Figura 15, donde se encuentra la máxima concentración de esfuerzos, se tiene:

$$M_a = 59.58 \text{ Nm}$$

$$T_m = 71.14 \text{ Nm}$$

Se determina el valor del factor de concentración de esfuerzos, ocasionado en el cambio de sección de análisis, se tienen un radio de filete de 5mm y un diámetro del eje de 35 mm.

$$\frac{r}{d} = \frac{5}{35} = 0.1$$

Para el valor calculado, se tiene un factor de concentración de esfuerzos igual a $K_t = 1.7$ y $K_{ts} = 1.5$, ver el ANEXO E para un análisis conservador se tiene que $K_t = K_f$ y $K_{ts} = K_{fs}$.

Reemplazando en la (Ec. 8) y con un factor de seguridad igual a 2 se tiene:

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left(\left(\frac{2((1.7)(59.58 \text{ N}))}{161.17 \text{ MPa}} \right) + \frac{[3((1.5)(71.14 \text{ Nm}))^2]^{1/2}}{440 \text{ MPa}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 25.75 \text{ mm}$$

El diámetro calculado para los esfuerzos que se aplican al eje es de 25.75 mm.

c. Diseño del eje supresor

En la Figura 19 se muestra un bosquejo general del eje supresor con sus componentes, misma que servirá para el análisis.

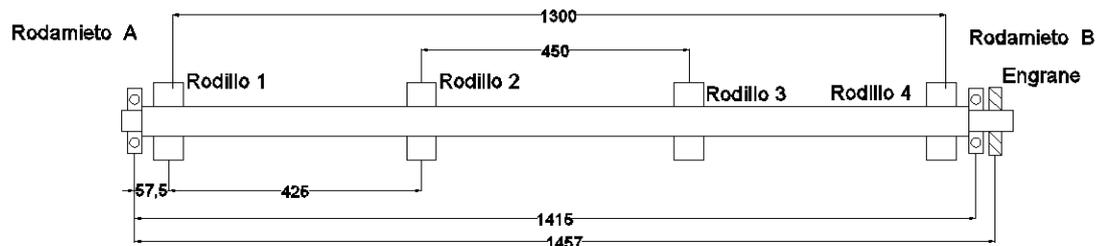


Figura 19 Bosquejo general del eje supresor

Para este eje se considera el mismo análisis efectuado en el eje de transmisión debido a que cuenta con las mismas características, y fuerzas que actúan en él.

Con la ayuda del software MDSolid, se determina el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, para el plano XY e YZ, como muestran las Figuras 20 y 21 respectivamente.

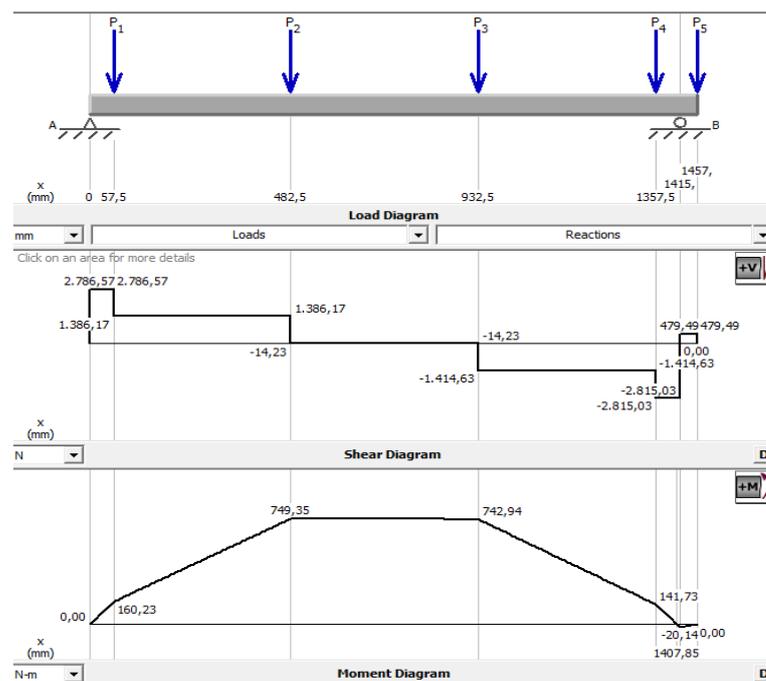


Figura 20 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, plano XY

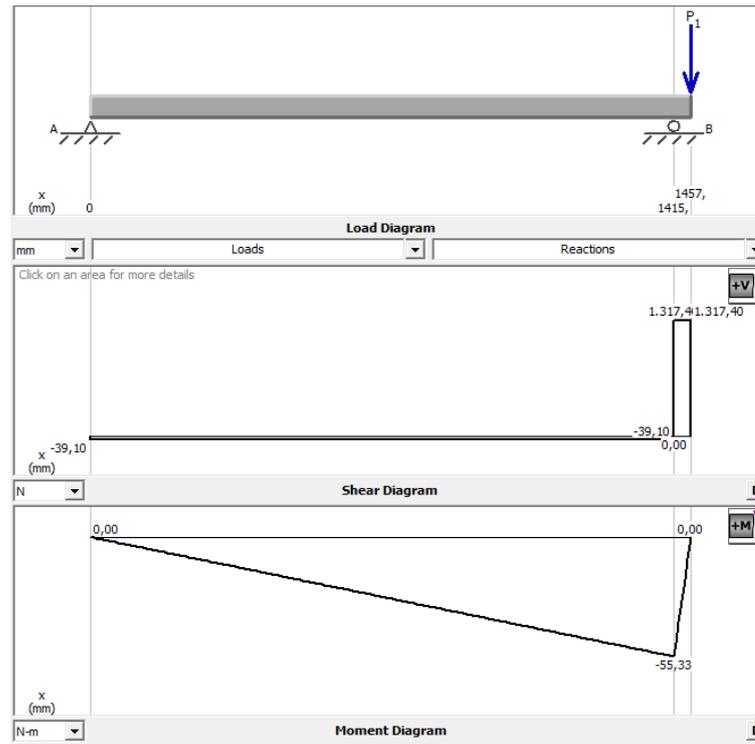


Figura 21 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, plano YZ

A continuación en la Figura 22 se representa el momento flector total.

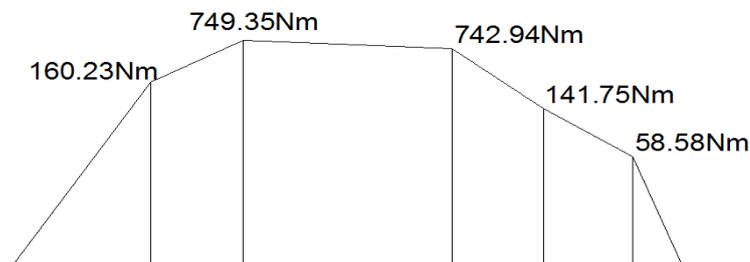


Figura 22 Momento total del eje supresor

Se analiza el eje en el punto más crítico de concentración de esfuerzo donde se tiene un momento de 58.88 Nm, se utiliza los mismos valores del eje de transmisión para el cálculo del diámetro del eje supresor, ya que es un eje de idénticas condiciones, solo varía en el momento a considerar, reemplazando en la (Ec. 8) se obtiene el siguiente resultado:

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left(\left(\frac{2((1.7)(58.88Nm))}{161.17 MPa} \right) + \frac{[3((1.5)(71.14 Nm))^2]^{1/2}}{440 MPa} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 25.68 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta los diámetros calculados para el eje de transmisión y supresor de 25.75 mm y 25.68 mm respectivamente, el diámetro del eje está determinado tanto por el diámetro interior de los rodillos de arrastre como por el diámetro interior del rodamiento que son: (50,8 mm) y (35 mm) respectivamente.

d. Selección de rodamiento

Generalmente los rodamientos de bolas son sometidos a una combinación de carga radial F_r y axial F_a . Por esta razón, hay que definir una carga radial equivalente F_e (Ec. 9), ocasiona el mismo efecto sobre la vida del cojinete que las cargas radial y axial combinadas.

$$F_e = XF_r + YF_a \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

F_e	Carga equivalente (N)
F_r	Carga radial real (N)
F_a	Carga axial real (N)
X	Factor radial
Y	Factor axial

En la Tabla 13. Se presentan los factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas, indicando ciertas condiciones para la selección de cada factor.

Tabla 13

Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas

F_a/C_o	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45

CONTINÚA 

0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Como la carga axial es casi despreciable ($F_a \approx 0$) se tiene que:

$\frac{F_a}{C_0} \approx 0$, por lo tanto $\frac{F_a}{F_r} \leq e$, se selecciona un factor radial de 1 y un factor axial de 0.

Se obtiene:

$$F_e = XF_r$$

Donde F_r equivale a la mitad del peso de los rodillos de arrastre y el eje

$$F_r = \frac{33974 \text{ N}}{2}$$

$$F_r = 169.87 \text{ N}$$

De tal manera que la carga equivalente tiene un valor de:

$$F_e = 1(169.87 \text{ N})$$

$$F_e = 169.87 \text{ N}$$

La especificación básica de carga dinámica C que se necesita para una carga y una vida útil de diseño específicas es la (Ec. 10).

$$C = F_e \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_D}{10^6}} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- C Capacidad de carga dinámica (kN)
- F_e Carga equivalente (N)
- L_D Duración nominal de servicio (horas)
- p Exponente de la fórmula de duración
- n Velocidad constante de rotación (rev/min)

Se considera un valor de $p = 3$ para los rodamientos de bolas, y un número de 16 kh de acuerdo a las especificaciones mostradas en la Tabla

14, para máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente.

Tabla 14
Recomendaciones de vida de cojinetes

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Reemplazando datos en la (Ec. 10) se tiene que:

$$C = 169.87 N * \sqrt[3]{\frac{60 * 100 \frac{rev}{min} * 16000 \text{ horas}}{10^6}}$$

$$C = 1.66 kN$$

Con el valor calculado y con la ayuda del software SKF para la selección de rodamientos se tiene que el rodamiento adecuado para este mecanismo es el 6207, los resultados se muestran en la Figura 23.

Result

Deep groove ball bearings, Single row

Designation	d mm	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	L _{10m} 10 ⁶ rev	L _{10mh} hours	t _f hours	Notes
6207 *	35.0	72.0	17.0	27.0	15.3	113000	3760000	-	Loads 1)

*SKF Explorer bearing

1) $\kappa=4$ gives full surface separation, hence the SKF rating life has no additional lubrication benefit for $\kappa>4$. Operating at $\kappa>4$ is possible but depending on the speed and lubricant quantity, may lead to higher friction and temperature.

Figura 23 Tipo de rodamiento seleccionado

e. Selección de cadena piñón

La roladora cuenta con un sistema de movimiento piñón-cadena, mismo que resulta confiable para la transmisión de movimiento, viendo esta característica y la necesidad de tener la misma velocidad en el sistema de arrastre y rolado se realiza el acople entre estos dos sistemas, seleccionando el mismo piñón con una relación 1:1.

El piñón de transmisión que se encuentra ubicado en la roladora tiene las siguientes características: 15 dientes y un paso de 5/8 de pulgada.

Mediante la (Ec. 11) se realiza el cálculo de la longitud de la cadena, teniendo en cuenta las características del piñón antes mencionado.

$$L = 2C + \frac{(N_1 + N_2)}{2} + \frac{(N_1 - N_2)^2}{4\pi^2 C} \quad \text{Ec. 11}$$

Dónde:

L	Longitud de la cadena (pasos).
C	Distancia entre centros de catarinas (mm)
N_1	Número de dientes del piñón.
N_2	Número de dientes de la Catarina.

Se tiene una distancia entre centros de 400mm, N_1 es igual a N_2 ya que se requiere de una misma velocidad.

$$C = 400 \text{ mm} = 25.1968 \text{ pasos}$$

$$L = 2(25.1968) + \frac{(15 + 15)}{2} + \frac{(13 - 13)^2}{4\pi^2 (25.1968)}$$

$$L = 65.39 \text{ pasos}$$

Se selecciona una cadena de 65,39 pasos de 5/8 de pulgada.

f. Análisis fuerza de rolado

La máquina roladora, cuenta con tres rodillos, los mismos que permiten laminar la pieza, pudiendo ser esta de diferentes materiales como el panel compuesto de aluminio, placa de aluminio puro, acero inoxidable y barra de acero.

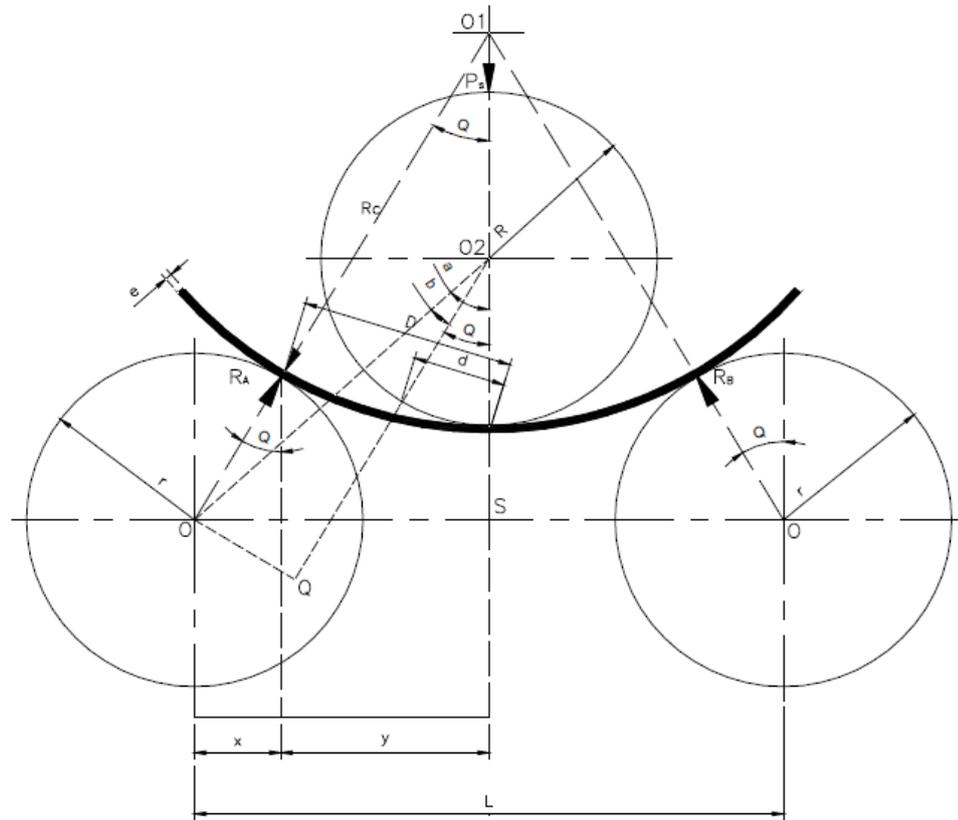


Figura 24 Parámetros rodadora

f.1. Cálculo de la potencia del motor

Se establecen los siguientes datos para calcular la potencia en la rodadora:

b = Ancho máximo de lámina = 1022mm

e = Espesor máximo de la lámina = 1mm

S_y = Límite de fluencia de la lámina de metal = 290MPa

L = Separación entre centros de los rodillos inferiores = 132mm

Diámetro exterior de los rodillos:

$$\phi_e = 88.9\text{mm} \rightarrow R = 44.45\text{mm}$$

Momento Límite:

$$ML = \frac{b * h^2}{4} * S_y$$

$$ML = \frac{1022 * (1)^2}{4} * 290$$

$$ML = 74095 \text{ N.mm}$$

El ángulo máximo de rolado con espesor $e \geq 0$ está dado por la Ec. 12

$$\theta_{m\acute{a}x} = \sin^{-1} \left(\frac{L}{2 * (R + R + e)} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

De acuerdo a la Figura 24 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$x = R * \sin \theta \quad \text{Ec. 13}$$

$$D = \frac{\left(\frac{L}{2} - x\right)}{\cos \theta} \quad \text{Ec. 14}$$

$$d = R * \tan \theta \quad \text{Ec. 15}$$

$$P_S = \frac{6ML * D * \cos \theta}{(3D - 2d) \left(D + \frac{2d}{3} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{d}{3D}} \right)} \quad \text{Ec. 16}$$

Reemplazando valores en la Ec. 12, Ec. 13, Ec. 14, Ec. 15. Respectivamente se tiene:

$$\theta_{m\acute{a}x} = \sin^{-1} \left(\frac{132}{2 * (44.45 + 44.45 + 1)} \right)$$

$$\theta_{m\acute{a}x} = 47.23^\circ$$

$$x = 44.45 * \sin 47.23^\circ$$

$$x = 32.63 \text{ mm}$$

$$D = \frac{\left(\frac{132}{2} - 32.63\right)}{\cos 47.23^\circ}$$

$$D = 49.14 \text{ mm}$$

$$d = 44.45 * \tan 47.23^\circ$$

$$d = 48.05 \text{ mm}$$

Reemplazando valores en la Ec. 16 se tiene la fuerza de rolado:

$$P_S = \frac{6(74095) * 49.14 * \cos 47.23^\circ}{(3(49.14) - 2(48.05)) \left(49.14 + \frac{2(48.05)}{3} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{48.05}{3(49.14)}} \right)}$$

$$P_S = 4624.7 \text{ N}$$

La resistencia a la rodadura de rolado está dada por la Ec. 17:

$$Pr = Wb \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde:

P	Fuerza de rodadura (N)
r	Radio de la rueda (mm)
W	Fuerza de rolado (N)
b	Coefficiente de rozamiento (mm)

El coeficiente de rozamiento Acero/Acero = 0.74mm

Para garantizar el correcto funcionamiento del mecanismo de rolado y arrastre de lámina se considera un factor de seguridad de $f = 5$, despejando P y operando en la Ec. 17. Se tiene:

$$P = \frac{4624.7N(5)(0,74mm)}{44.45 \text{ mm}}$$

$$P = 384.96 \text{ N}$$

El torque generado por la fuerza de rodadura está dado por la Ec. 18.

$$\tau = P * r \quad \text{Ec. 18}$$

Reemplazando datos en la Ec. 18 se tiene:

$$\tau = 384.96 \text{ N} * (0.04445)$$

$$\tau = 17.11 \text{ Nm}$$

Para el mecanismo de arrastre se tiene una fuerza de apriete estimada de 500 N, considerando un factor de seguridad de $f = 5$, radio de rueda de 50.8mm y un coeficiente de rozamiento de 0.74, se reemplaza en la EC. 17 para hallar la fuerza de rodadura en este mecanismo.

$$P_{\text{arrastre}} = \frac{500N(5)(0,74mm)}{50.8 \text{ mm}}$$

$$P_{\text{arrastre}} = 36.42 \text{ N}$$

El torque generado en el mecanismo de arrastre se calcula reemplazando en la EC. 18.

$$\tau_{arrastrre} = 36.42 N * (0.0508)$$

$$\tau_{arrastrre} = 1.85 Nm$$

El torque total del sistema arrastre-rolado es el siguiente:

$$\tau_T = 1.85 Nm + 17.11 Nm$$

$$\tau_T = 18.96 Nm$$

Para el cálculo de la potencia se tiene la Ec. 19.

$$Pot = \frac{2 * \pi * n}{60} * \tau \quad [W] \quad \text{Ec. 19}$$

Se estima que el sistema gire a una velocidad de 100rpm, y reemplazando en la Ec. 19. Se tiene:

$$Pot = \frac{2 * \pi * (100)}{60} * 18.96 Nm$$

$$Pot = 198.13 * \frac{1 HP}{746 W} = 0.27 HP$$

La potencia calculada para el motor del sistema arrastre-rolado es 0.27 HP, por lo que el motor de 1HP que está en el mecanismo de rolado satisface el movimiento del sistema.

g. Análisis estático de la estructura de la mesa de arrastre de lámina

La estructura de la mesa de arrastre de lámina está constituida en su totalidad por secciones de tubo cuadrado de acero estructural ASTM A500, el grado más común tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de 320 MPa y 405 MPa respectivamente.

g.1. Distribución de cargas

Para la distribución de cargas en la estructura, entra en consideración la posición y el peso de los componentes mecánicos que entran en contacto con la mesa de arrastre de lámina. Así también, la fuerza de empuje con la

que deben actuar los rodillos de arrastre para dar paso a la lámina de chapa metálica.

El peso del sistema de rolado y de arrastre, así como la fuerza de arrastre se distribuye de igual manera para ambos extremos de la mesa. La fuerza de arrastre se determina como una fuerza tangencial a la estructura, de tal manera se tiene la distribución de cargas como se muestra en la Figura 25.

$$W_{sis-rolado} = 1028.38 \text{ N}$$

$$W_{sis-arrastre} = 1079.04 \text{ N}$$

$$F_{arrastre} = 371.34 \text{ N}$$

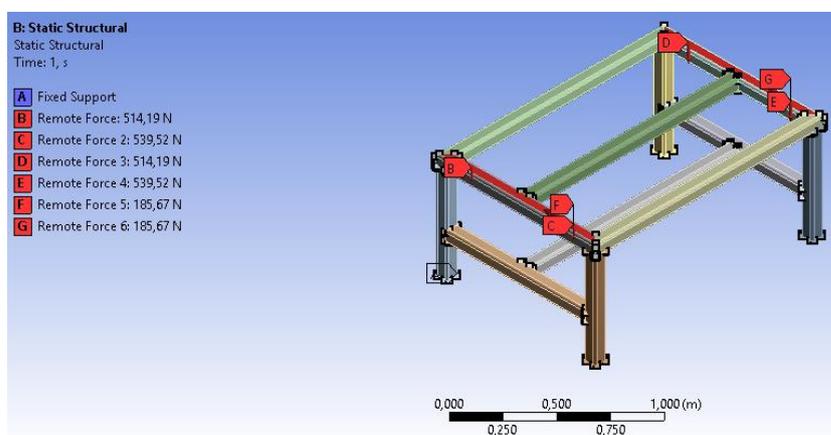


Figura 25 Distribución de cargas

g.2. Máxima tensión principal

Como se observa en la figura 26, se tiene una tensión máxima de 4.31 MPa, por lo que se consideran como puntos críticos las esquinas superiores de la mesa. Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del material empleado, se prueba que no van a existir rupturas en la estructura, garantizando el correcto desempeño del sistema de arrastre y rolado.

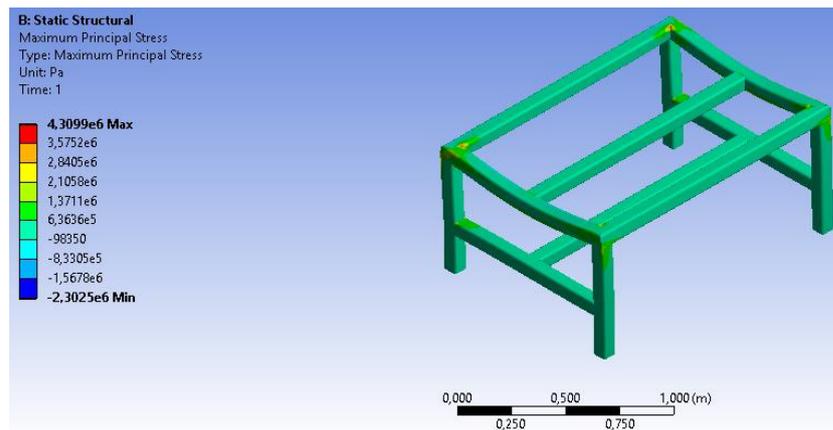


Figura 26 Máxima tensión principal

g.3. Deformación total de la estructura

Por la distribución de cargas puntuales en la estructura, se tiene como resultado un factor de deformación de 0.0261 mm, esto garantiza que la deformación que se produce en la estructura, no excede los límites de las propiedades físicas del material, como muestra la Figura 27.

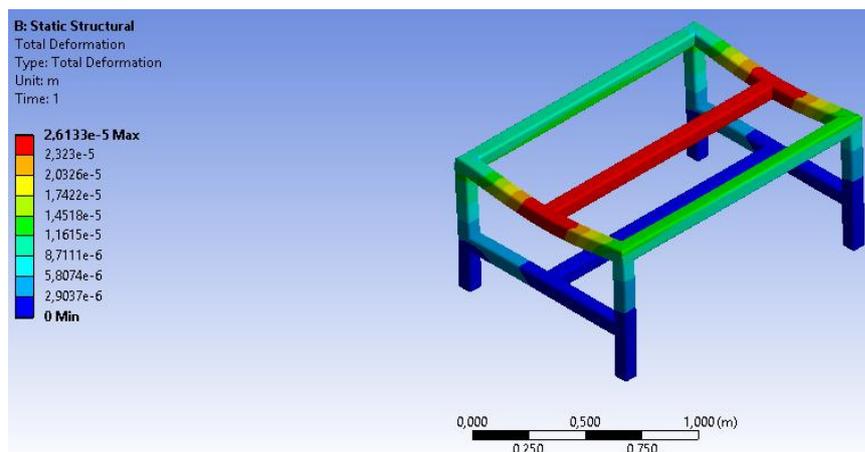


Figura 27 Deformación total

g.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad que presenta la estructura es $n = 15$, esto asegura que los resultados obtenidos están dentro de los límites establecidos para el material y se garantiza el correcto funcionamiento sin presentar fallas en el servicio del sistema de arrastre y rolado de lámina de chapa metálica, presentado en la Figura 28.

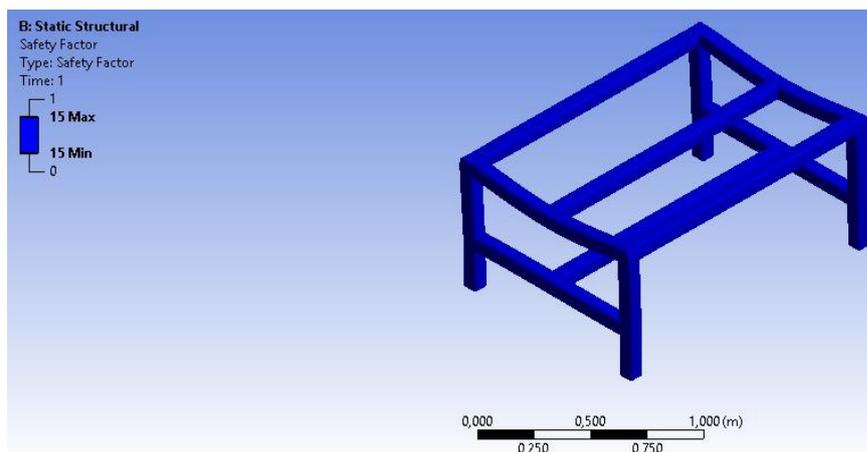


Figura 28 Factor de seguridad

2.4.2. Diseño del mecanismo de mesa de guiado

El mecanismo de guiado de chapa metálica es necesario para asegurar el ingreso alineado de la lámina a la cizalla para el respectivo corte. Consta de dos topes, uno fijo y otro móvil, mismo que va a permitir regular el ancho de la lámina que va a ser cortada, de igual manera 3 rodillos que van a permitir la movilidad de la lámina a la velocidad ya establecida por la roladora.

a. Diseño del eje de guiado

Para el diseño del eje de guiado, es necesario realizar un análisis y comprobar su capacidad para soportar los esfuerzos que se van a generar dentro del sistema de guiado de la chapa metálica.

En la Figura 29 se muestra un bosquejo general del eje con sus componentes, misma que servirá para el análisis.

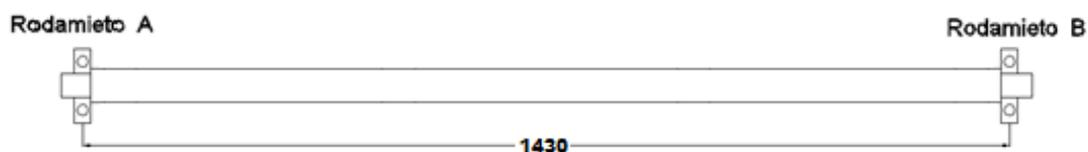


Figura 29 Bosquejo general del eje de guiado

Las características del eje de guiado son las siguientes: una masa $m_{eje-guiado} = 47.34 \text{ kg}$, una longitud $l_{eje-guiado} = 1.43\text{m}$, de sección circular sólida de diámetro de $d_{eje-guiado} = 76.2 \text{ mm}$.

El peso del eje de guiado se determina mediante la (Ec. 20)

$$W = m * g \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

W	Peso (N)
m	Masa (kg)
g	Gravedad (m/s^2)

Reemplazando estos valores en la (Ec. 12) se tiene un peso de:

$$W_{eje-guiado} = 47.34 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_{eje-guiado} = 464.41 \text{ N}$$

El eje será considerado como una viga simplemente apoyada, sometida a una carga uniformemente distribuida. Mediante el análisis realizado en el software MDSolid, se obtuvo el diagrama de fuerza cortante y momento flexionante, mostrados en la Figura 30.

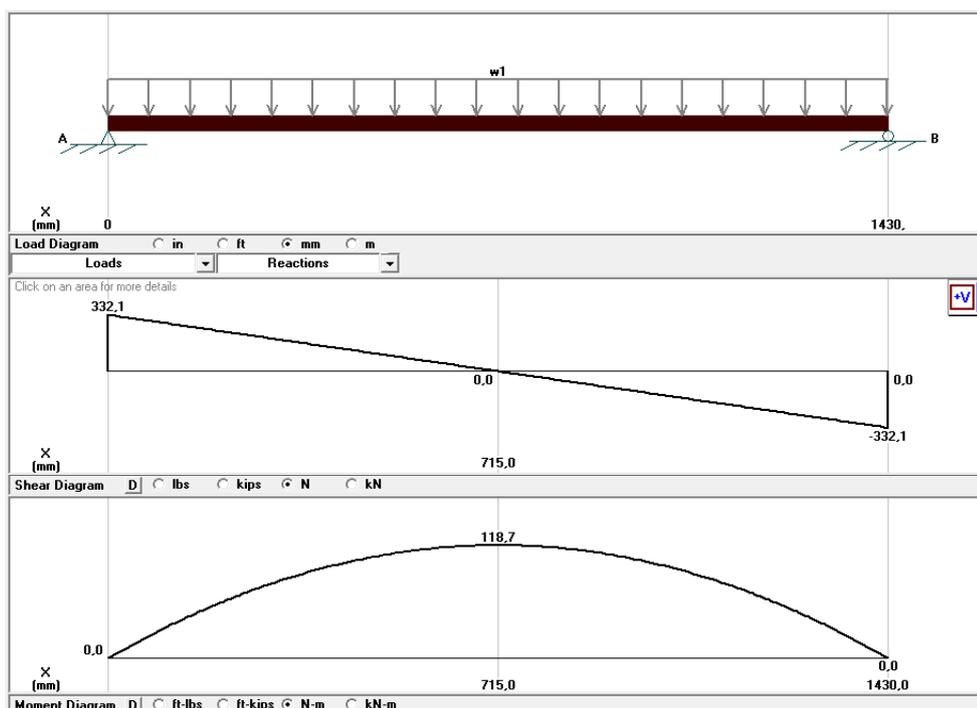


Figura 30 Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante

El torque que actúa en el eje de guiado, se genera debido a la fuerza de rozamiento provocada por la fricción entre el eje y la lámina de chapa

metálica, para esto se considera un coeficiente de rozamiento de acero con acero $\mu_s = 0.74$ mm.

La fuerza de rozamiento se calcula mediante la (Ec. 21).

$$P = \frac{W * b}{r} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

P	Fuerza de rozamiento (N)
W	Peso del eje (N)
b	Coeficiente de rozamiento (mm)
r	Radio del eje (mm)

Reemplazando valores en la (Ec. 13) se obtiene:

$$P = \frac{464.41 \text{ N} * 0.74 \text{ mm}}{38.1 \text{ mm}}$$

$$P = 9.02 \text{ N}$$

Es así que el torque que actúa en el eje de guiado es:

$$T = P * r$$

$$T = 9.02 \text{ N} * 0.0381 \text{ m}$$

$$T = 0.344 \text{ N.m}$$

Para el cálculo de los factores de concentración de esfuerzos en el cambio de sección mediante las (Ec. 22) y (Ec. 23), se presentan:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ec. 22}$$

$$K_{fs} = 1 + q_{corte}(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. 23}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{76.2 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 1.905$$

$$\frac{r}{d} = \frac{5 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 0.125$$

Para el valor de la sensibilidad a la muesca se interpretan las gráficas de los ANEXOS F Y G, tendiendo así:

$$q = 0.78$$

$$q_{cortante} = 0.8$$

Con los valores anteriores se interpretan las gráficas de los ANEXOS H y I, obteniendo así:

$$K_t = 1.62$$

$$K_{ts} = 1.38$$

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 14 y 15 se obtienen los siguientes factores de concentración de esfuerzos:

$$K_f = 1 + 0.78(1.62 - 1)$$

$$K_f = 1.48$$

$$K_{fs} = 1 + 0.8(1.38 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.304$$

Para el caso de un eje giratorio, el momento flexionante constante crea un esfuerzo flexionante completamente reversible, de tal forma se tiene:

$$M_a = 118.5 \text{ N.m}$$

$$T_m = 0.344 \text{ N.m}$$

$$M_m = T_a = 0$$

Aplicando el criterio de ED-Goodman y considerando un factor de seguridad $n = 2$, se tiene que:

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[\frac{2(1.48)(118.5 \text{ N.m})}{161.17 \text{ MPa}} + \frac{(3[(1.304)(0.344 \text{ N.m})]^2)^{1/2}}{440 \text{ MPa}} \right] \right\}^{1/3}$$

$$d = 28.1 \text{ mm}$$

Se tiene así que para un factor de seguridad de 2, el valor mínimo permisible del diámetro del eje de guiado es de 28.1 mm, lo que justifica el uso de un eje con diámetro de 76.2 mm garantizando el correcto desempeño del sistema de guiado de chapa metálica para un periodo de tiempo infinito.

b. Análisis estático de la estructura de la mesa de guiado de lámina

La estructura de la mesa de guiado, al igual que la mesa de arrastre, está constituida en su totalidad por tubo cuadrado de acero estructural ASTM A500.

b.1. Distribución de cargas

En esta estructura, al igual que en la anterior, se considera la posición y el peso de los componentes mecánicos, para la distribución de cargas puntuales que entran en contacto con la mesa de guiado de lámina.

El peso de los componentes del sistema de guiado se distribuye de igual manera para ambos extremos de la mesa, teniendo en cuenta que está formado por 3 rodillos, de tal manera se tiene la distribución de cargas como se muestra en la Figura 31.

$$W_{rod-guiado} = 464.42 \text{ N}$$

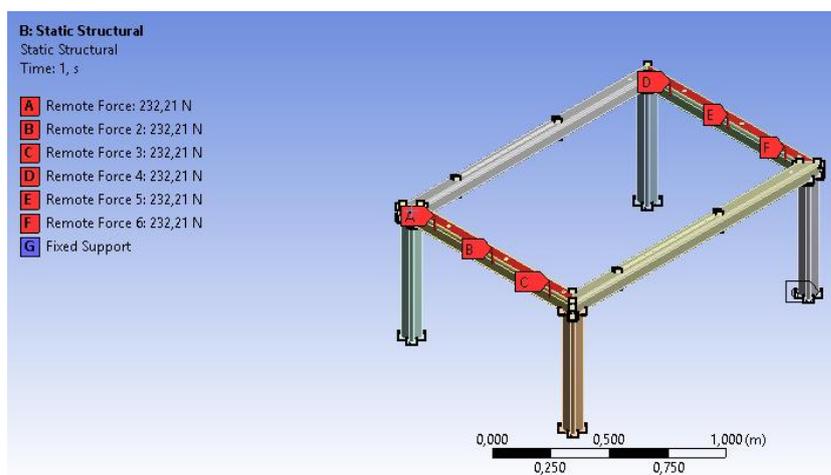


Figura 31 Distribución de cargas

b.2. Deformación total

De acuerdo a la distribución de cargas puntuales en la estructura, se tiene como resultado un factor de deformación de 0.0169 mm. Se asegura así que la deformación que se produce en la estructura, no excede los límites de las propiedades físicas del material, como muestra la Figura 32.

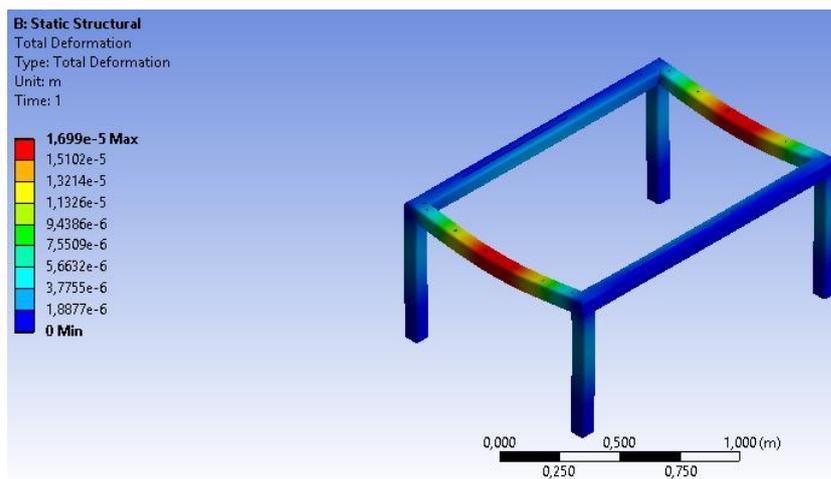


Figura 32 Deformación total

b.3. Máxima tensión principal

Como se observa en la Figura 33, se obtuvo una tensión máxima de 2.94 MPa, al igual que en el caso anterior, los puntos críticos están presentes en las uniones de las secciones de la estructura. Comparando el resultado obtenido en el análisis con las propiedades mecánicas del material empleado, se asegura que no van a existir rupturas en la estructura durante el funcionamiento del sistema de guiado de lámina.

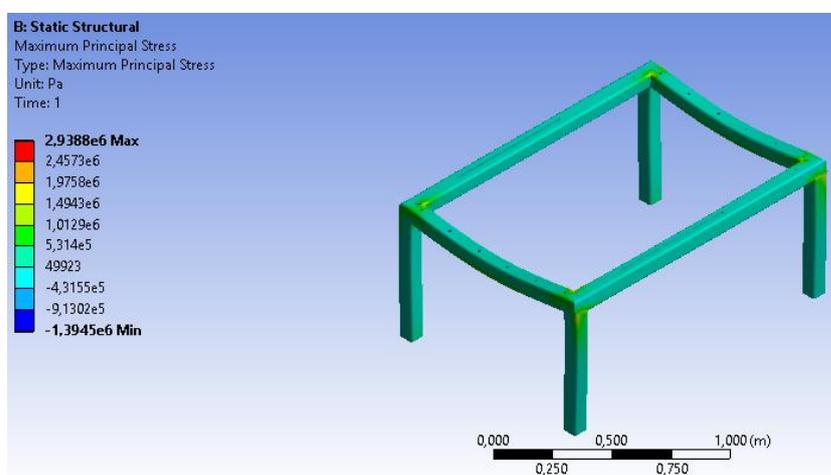


Figura 33 Máxima tensión principal

b.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad que presenta la estructura es igual al resultado obtenido en el caso anterior, con $n = 15$, por lo tanto se asegura el correcto funcionamiento del sistema de guiado sin presentar fallas ni rupturas dentro de la estructura, como presenta la Figura 34. Para este caso y para la

estructura de la mesa de arrastre, se tiene un valor alto de factor seguridad, debido a que se realizó el análisis con un material existente en la empresa.

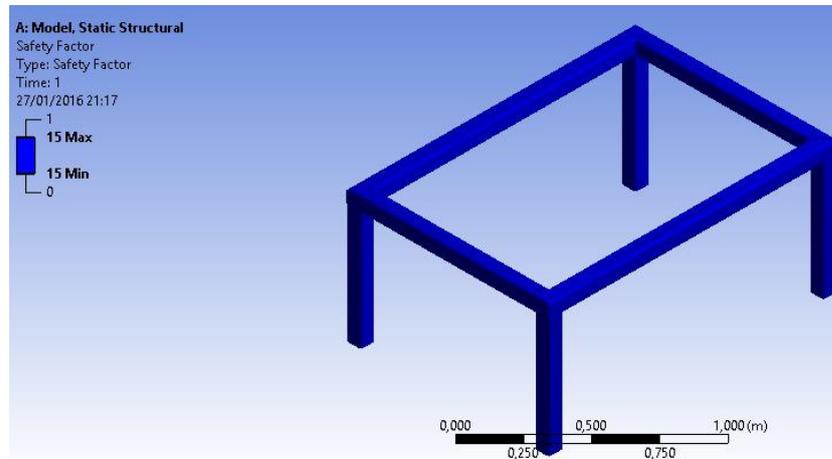


Figura 34 Factor de seguridad

2.5. Diseño del sistema electrónico y electrónico

El sistema eléctrico - electrónico en un proyecto de automatización es muy esencial y de vital importancia, pues permite el control total de cada una de las máquinas y sensores que integran un proceso.

Teniendo en cuenta la importancia de cada uno de los componentes se les divide en tres grupos de análisis, el primer grupo trata de la descripción de los dispositivos de control adecuados para la automatización, y por último el tercer grupo trata de la descripción de los elementos de potencia, donde se detallan sus características técnicas.

2.6. Descripción de los dispositivos de control.

Los dispositivos de control son los encargados de dar vida al sistema de corte de chapa metálica automático, mismos que se detallan a continuación:

2.6.1. PLC

El PLC (Controlador Lógico Programable) es la parte central de la automatización, debe entregar una respuesta rápida y estar sujeto a los requerimientos del sistema de corte de chapa metálica automático, el PLC por otro lado debe ser de fácil adquisición y programación, y principalmente debe tener el puerto de comunicación Industrial requerido.

A continuación se detallan las consideraciones para la selección del PLC a ser implementado en el sistema de corte de chapa metálica automático:

- Control de la velocidad del motor de la desbobinadora y del sistema de arrastre y rolado mediante un variador de frecuencia.
- Lectura del sensor de distancia encoder incremental tipo rueda.
- Voltaje de alimentación 110 /220 V.
- Puerto de comunicación Industrial Profibus DP.
- Tres entradas digitales.
- Dos salidas analógicas.
- Cinco salidas digitales.
- HMI mediante Touch Panel.

Tomando en cuenta las consideraciones detalladas anteriormente se selecciona el PLC S7-1200 con una CPU1214C AC/DC/Relé, de marca SIEMENS de modo que es una marca reconocida en el proceso de automatización como muestra la Figura 35.



Figura 35 PLC S7-1200 CPU1214C AC/DC/Relé

Fuente: **(Masvoltaje, 2016)**

Además su programación es fácil y así como la adquisición en el mercado, las características técnicas se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15

Características del PLC S7-1200 CPU1214C

PLC S7-1200 CPU1214C	
Tipo	AC-DC-Relé
Alimentación	110-220 VAC
Entradas Digitales	14 a 24 VDC
Salidas Digitales	10 Tipo relé
Entradas Análogas	2 (0-10 VDC)
Memoria	75 KB

Así mismo se selecciona el PLC S7-1200 CPU1212C AC/DC/Relé necesario para la comunicación de la red Profibus, mismo que hará las funciones de maestro en la red como indica la Figura 36.

**Figura 36 PLC S7-1200 CPU1212C AC/DC/Relé**

Fuente: (HMK, 2016)

2.6.2. Módulo de salidas analógicas

De modo que el PLC es modular y al necesitar salidas analógicas, una para el control de la velocidad del motor y otra para el accionamiento de la cizalla, se incorpora el módulo SM1232 como muestra la Figura 37.



Figura 37 Módulo de salidas analógicas Siemens SM 1232

Fuente: (Automation24, 2016)

2.6.3. Módulo de comunicación Profibus DP

Como ya se menciona anteriormente la transferencia de datos se lleva a cabo mediante el protocolo Profibus DP, es por esta razón que se incorpora el modulo CM 1243-5 y el CM 1242-5, maestro y esclavo respectivamente como muestra la Figura 38.

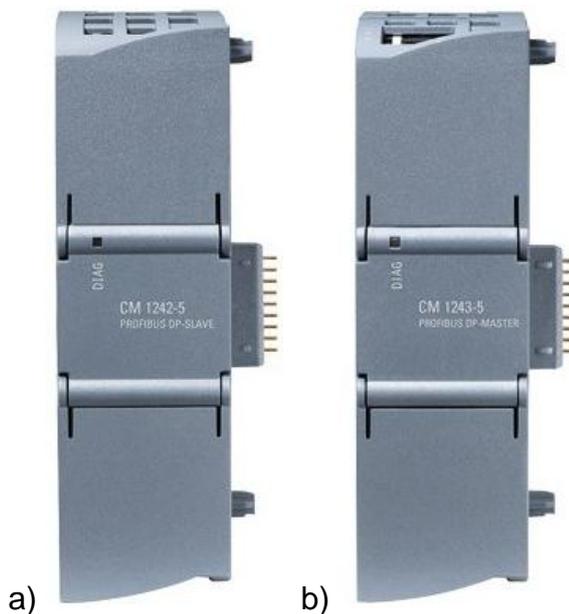


Figura 38 Módulo de comunicación a) CM 1242-5 y b) CM 1242-5

Fuente: (CARVEN, 2016)

2.6.4. Touch Panel

Se opta por seleccionar una Touch Panel KTP700 Basic HMI como indica la Figura 39, las características se detallan en la Tabla 16, el componente es de igual marca que el PLC y sus módulos (SIEMENS).



Figura 39 Touch Panel KTP700 Basic HMI

Fuente: (Automation24, 2016)

Tabla 16

Características Touch Panel KTP600 DP Basic HMI

Touch Panel KTP600 DP Basic HMI	
Display	TFT
Tamaño Display	5.7 in
Número de colores	256
Teclas de función	6
Voltaje de alimentación	24 VDC
Consumo Nominal	0.35 A
Potencia	9 W
Puerto de Comunicación	PROFIBUS DP

2.6.5. Encoder

Para medir la distancia del corte de chapa metálica es necesario contar con un sensor de distancia, es por esto que se optó por elegir el encoder, mismo que debe satisfacer las consideraciones que a continuación se detallan.

- Resolución de al menos 2 mm por pulso.
- Debe estar en contacto con la lámina de metal.
- Encoder de tipo incremental.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se optó por implementar un encoder incremental tipo rueda ENC11T24, de marca Autonics como indica la Figura 40, las características se encuentran detallados en la Tabla 17.



Figura 40 Encoder incremental ENC11T24

Fuente: (Via Industrial, 2015)

Tabla 17

Características del encoder incremental ENC11T24

Encoder incremental tipo rueda ENC11T24	
Referencia	ENC11T24
Pulsos por revolución	250 1 mm/P
Salida / Fases	TOTEM POLE / A,B
Máxima revoluciones	5000 RPM
Alimentación	12-24 VDC
Frecuencia	180 KHz
Protección	IP50

2.7. Descripción de elementos de potencia.

Los elementos de potencia necesarios para la automatización del corte de chapa metálica se mencionan a continuación:

2.7.1. Motor

Considerando los cálculos realizados para obtener la potencia necesaria del motor, se concluye la utilización del motor WEG W22 - IE1 como indica la Figura 41, existente en el sistema de rolado de chapa metálica, ya que este entrega una potencia de 1 HP, siendo suficiente para proporcionar movimiento al mecanismo de rolado y arrastre de lámina, se toma en cuenta las siguientes consideraciones de operación:

- Voltaje de alimentación trifásico de 220V ya que la empresa Industria Metálica Cotopaxi cuenta con estos niveles de tensión.
- Una frecuencia de 60 Hz, frecuencia existente a nivel del nacional.



Figura 41 Motor WEG W22 - IE1

Fuente: (WEG E. E., 2016)

A continuación en la tabla 18, se detallan las características técnicas del motor WEG W22 - IE1:

Tabla 18

Características técnicas motor WEG W22 - IE1

Datos técnicos	
Potencia	1 HP
Velocidad	1705 RPM
Frecuencia	60 Hz
Número de polos	4
Corriente nominal	6.08 A
Voltaje de alimentación	220 VAC

2.7.2. Variador de frecuencia

Debido a que la desbobinadora de material gira a velocidades altas y se requiere el control de la velocidad de esta máquina se opta por implementar un variador de frecuencia que cumpla con las siguientes consideraciones:

- Voltaje de alimentación trifásico 220 V.
- Potencia nominal del motor 2 HP.
- Frecuencia de la red 60 Hz.
- 3 Entradas digitales para control de accionamiento del variador.
- 1 Entrada analógica para control de velocidad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se eligió el variador de frecuencia SV015iG5A-2 como muestra la Figura 42. Cuenta con las características técnicas detalladas en la Tabla 19.



Figura 42 Variador de frecuencia SV015iG5A-2

Fuente: (ST Controls, 2016)

Tabla 19

Variador de frecuencia SV015iG5A-2

Variador de frecuencia		
Modelo de variador	SV015iG5A-2	
Potencia nominal de entrada	200-230V 6.6 A	3 Faces 50/60Hz
Potencia nominal de salida	0-inputV	3 Faces
Corriente nominal de salida, frecuencia	5.0 A	0.1/400Hz
Capacidad del variador (kVA)	1.9KVA	

CONTINUA 

Potencia nominal del motor	2 HP
Entradas digitales	3
Entradas analógicas	1 (10VDC)
Salidas analógicas	1 (24VDC)

Para tener un control de la velocidad en el sistema de arrastre-rolado y poder sincronizarlo con el encoder se opta también por incluir un variador de frecuencia en este sistema considerando la potencia del motor que es de 1HP y las consideraciones mencionadas para el variador antes mencionado.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se eligió el variador de frecuencia SV008iG5A-1 como muestra la Figura 43, que cuenta con las características detalladas en la Tabla 20.



Figura 43 Variador de frecuencia SV008iG5A-1

Fuente: (Punglim, 2016)

Tabla 20

Variador de frecuencia SV008iG5A-1

Variador de frecuencia		
Modelo de variador	SV008iG5A-1	
Potencia nominal de entrada	200-230V	3 Faces
	5 A	50/60Hz
Potencia nominal de salida	0-inputV	3 Faces
Corriente nominal de salida, frecuencia	5.0 A	0.1/400Hz
Capacidad del variador (kVA)	1.9KVA	
Potencia nominal del motor	1 HP	

Entradas digitales	3
Entradas analógicas	1 (10VDC)
Salidas analógicas	1 (24VDC)

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se van a detallar los procesos de implementación y montaje de los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico y software, los mismos que conforman es sistema automatizado de corte de chapa metálica.

Una vez culminado el diseño del sistema, se procede a la fabricación y posterior implementación de los elementos mecánicos, así también el montaje de los elementos eléctricos que conforman la máquina, de esta manera se pretende poner en funcionamiento el sistema automático de corte, y realizar pruebas y corrección de posibles fallas.

3.1. Implementación del sistema mecánico

La implementación del sistema mecánico, inicia con la fabricación de todos los componentes que forman parte de la máquina, teniendo en cuenta la selección de materiales presentada en el capítulo anterior, para la construcción de cada elemento. Posteriormente se detalla el proceso de montaje y ensamblaje de todo el sistema, señalando los métodos de sujeción seleccionados para cada caso.

3.1.1. Mecanismo de arrastre de lámina

La etapa de arrastre es la encargada de ingresar el material dentro del sistema de corte automático de chapa metálica, por lo que es importante el correcto ensamble y funcionamiento de dicho proceso con el fin de evitar fallos en los cortes deseados.

a. Fabricación eje de transmisión

La fabricación del rodillo de transmisión se desarrolló mediante un eje de acero AISI 1018, con un diámetro de 50.8 mm y una longitud de 1500 mm, es el encargado de sostener los rodillos de arrastre.

b. Fabricación eje de arrastre

La fabricación del rodillo de arrastre se desarrolló mediante un eje de acero AISI 1018 y un diámetro de 4 pulgadas. Tienen un contacto directo de 50 mm sobre la lámina de chapa metálica, ejerciendo así presión sobre el material, de esta manera se garantiza el paso del mismo sin que esta entre descuadrado a la fase del rolado. En la Figura 44 se observa el montaje de los rodillos de arrastre en los ejes de transmisión.

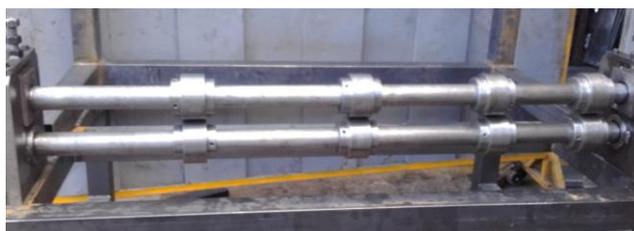


Figura 44 Ensamblaje eje de transmisión y rodillos de arrastre

c. Fabricación lateral fijo

La fabricación del lateral fijo se desarrolló mediante una pieza de acero ASTM A36, con un alto, ancho y espesor de 260 mm, 340 mm y 40 mm respectivamente. Tiene la función de sostener los ejes de transmisión y los rodillos de arrastre, los mismos que tendrán movimiento mediante el uso de rodamientos de bolas.

d. Fabricación lateral móvil

La fabricación del lateral fijo se desarrolló mediante una pieza de acero ASTM A36, con un alto, ancho y espesor de 100 mm, 110 mm y 50 mm respectivamente. Tiene la función de sostener el eje superior de transmisión con sus respectivos rodillos de arrastre, permitiendo la regulación de la apertura entre rodillos, dependiendo del espesor de la lámina de chapa metálica.

e. Fabricación volante

La fabricación del volante se desarrolló mediante un eje acero AISI 1018 con diámetro de 1 in, va unido mediante soldadura SMAW, al tornillo que da el movimiento a los laterales fijos del sistema de arrastre del material.

f. Fabricación de soportes del tornillo

La fabricación de los soportes, tanto superior como inferior se desarrolló mediante una plancha de 1 in de espesor. Son las encargadas de mantener unidos el tornillo con los laterales fijos y móvil, con el fin de garantizar una fuerza de apriete constante. En la Figura 45 se muestra en ensamble de los laterales fijo y móvil, con su tornillo y volante, sujeto con los respectivos soportes.



Figura 45 Ensamblaje lateral fijo y móvil, con volante y soportes

g. Mesa de arrastre

La fabricación de la mesa de arrastre se desarrolló mediante tubos cuadrados de acero estructural ASTM A500, de 80 mm por 5mm de espesor. El ensamble de la estructura que va a soportar el peso de todo el sistema de arrastre y rolado se efectuó mediante soldadura SMAW. Ver Figura 46.



Figura 46 Mesa de arrastre de lámina

3.1.2. Mecanismo de guiado de lámina

El proceso de guiado, permite el ingreso correcto del material dentro del sistema, garantiza la obtención de cortes a escuadra ya que posee dos guías laterales que mantienen recta la lámina de chapa metálica.

a. Fabricación rodillo de guiado

La fabricación del rodillo de guiado se desarrolló mediante un tubo de acero AISI 1018, con un diámetro de 76.2 mm y una longitud de 1500 mm, son los encargados de facilitar el movimiento de la lámina de chapa metálica a través de guías, para evitar el descuadre del material. Ver Figura 47.



Figura 47 Rodillos de guiado

b. Fabricación guía lateral

La fabricación la guía lateral se desarrolló mediante una plancha de acero ASTM A36 de 6 mm de espesor. Estas guías son las encargadas de permitir el correcto ingreso del material al sistema de arrastre, rolado y corte, garantizando la inexistencia de piezas descuadradas.

c. Fabricación mesa de guiado

La fabricación de la mesa de guiado se desarrolló mediante tubos cuadrados de acero estructural ASTM A500, de 80 mm por 5mm de espesor. Al igual que la estructura de la mesa de arrastre, su ensamble se efectuó mediante soldadura SMAW. En ella se disponen 6 chumaceras de piso, estas permiten el movimiento de los 3 rodillos de guiado. Ver Figura 48.



Figura 48 Mesa de guiado

3.1.3. Montaje y ensamblaje del sistema de guiado y arrastre

Una vez culminada la fabricación de las piezas que conforman el sistema de guiado y arrastre de chapa metálica, se procede con el montaje y ensamblaje de las mismas. Para ambos casos se aplica el método de sujeción mediante sujetadores roscados como pernos y tuercas, así también dependiendo la función de cada sistema se opta por la utilización de arandelas planas y de presión. Lo que facilita el ensamblaje y desmontaje de ambos sistemas. Se optó por la utilización de tuercas y pernos de cabeza hexagonal.

Para el caso de los rodillos de arrastre, se analizó la necesidad de que estos sean móviles, con el fin de ofrecer mayor presión sobre la lámina, dependiendo del ancho del material, es así que se consideró adecuado el uso de prisioneros Allen, garantizando así el ajuste correcto de los rodillos de arrastre con el eje de transmisión.

A continuación se muestran los ensamblajes de ambos sistemas en la Figura 49.



Figura 49 Ensamblaje sistema de guiado y arrastre

3.2. Implementación del sistema eléctrico

Para la implementación del sistema eléctrico, se tiene en cuenta todas las características técnicas de cada uno de los dispositivos empleados, seleccionando las protecciones y cableado adecuados, con el fin de evitar fallas eléctricas futuras.

3.2.1. Tablero de control

La distribución del tablero de control se efectuó mediante especificaciones de los proveedores de los dispositivos, con el fin de evitar fallas eléctricas como se presenta en la Figura 50. De igual manera, para la selección de los conductores eléctricos, se analizó el calibre dependiendo del voltaje y amperaje con el que va a trabajar cada elemento.

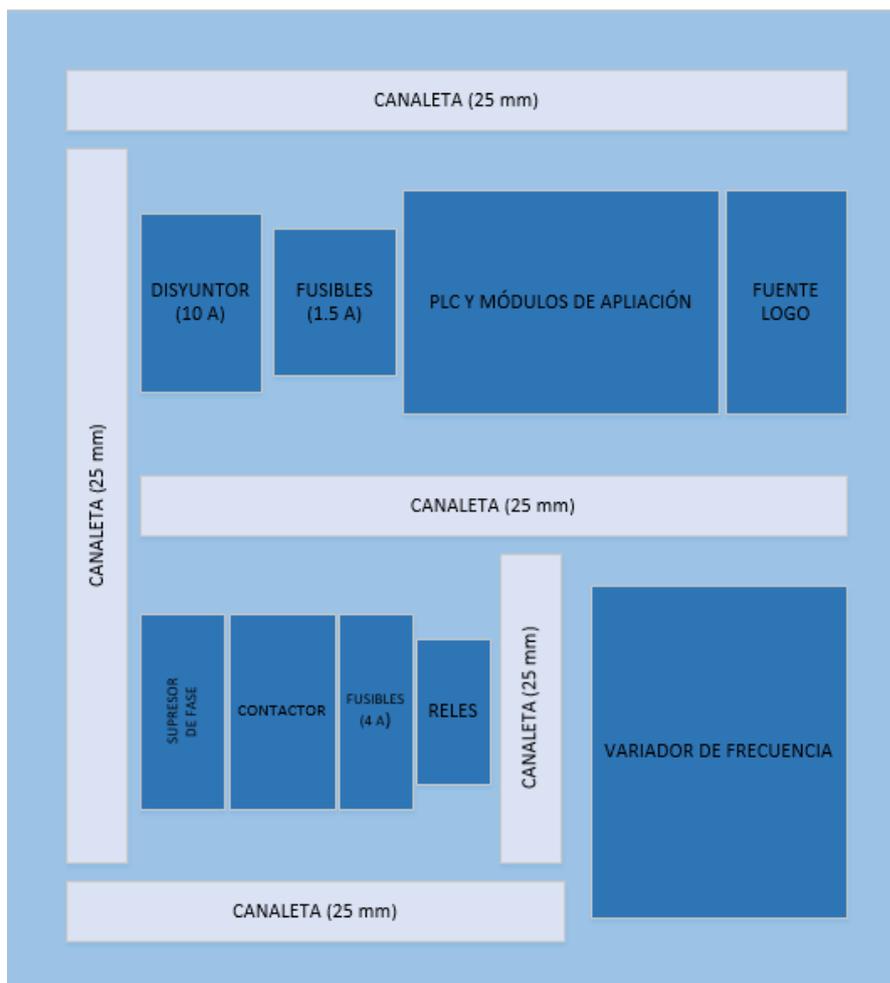


Figura 50 Distribución tablero de control

Es así que se seleccionó un conductor eléctrico AGW 14 para la etapa de potencia, teniendo en cuenta que se va a trabajar con una alimentación trifásica de 220V. De igual manera para la etapa de control, se seleccionó un conductor eléctrico AGW 18, tanto para entradas y salidas analógicas y digitales del PLC. Por último se seleccionó una canaleta de 25 mm para el paso de los diferentes conductores eléctricos y una riel tipo DIN para la distribución y montaje de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

De igual manera se rediseño el tablero de control existente en la máquina desbobinadora del rollo de chapa metálica, con el fin de acoplarla a las nuevas funciones establecidas por el sistema automatizado de corte. La selección de dispositivos y elementos conductores se realizó de manera similar al tablero principal, en la Figura 51 se detalla la distribución de los elementos eléctricos y electrónicos de la máquina desbobinadora.

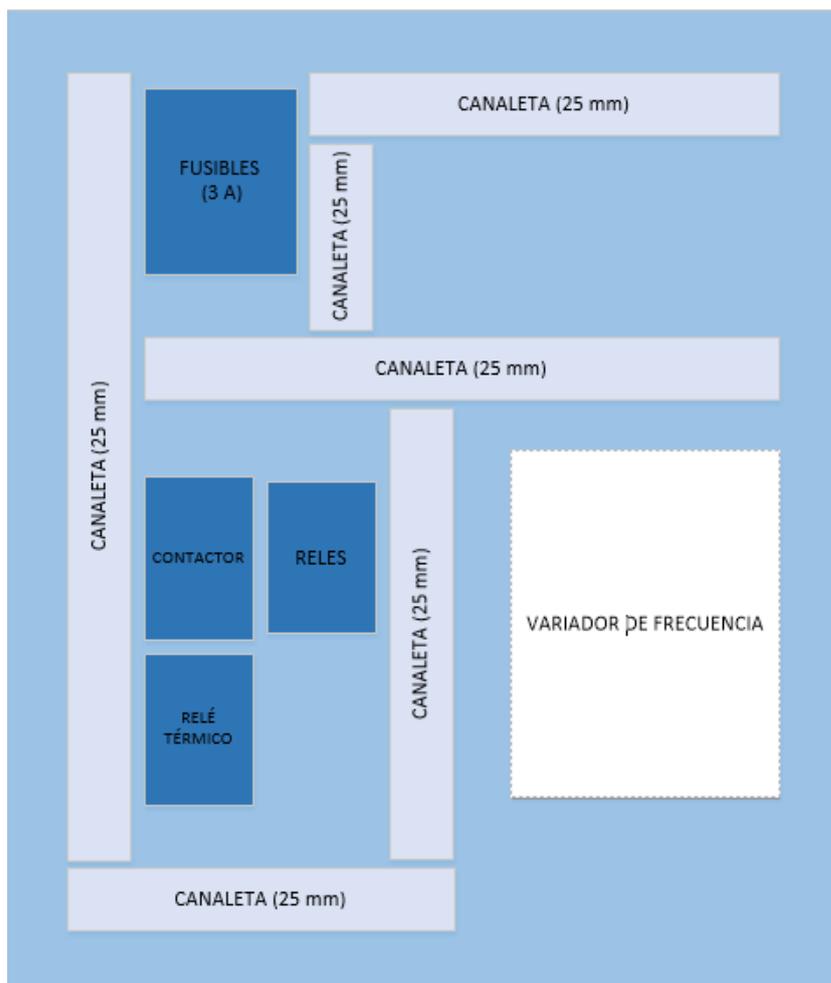


Figura 51 Distribución tablero de control desbobinadora

3.2.2. Cableado del sensor ENC-1-1-T-24

Para controlar el desplazamiento del material es necesario emplear un encoder incremental rotativo. La Figura 52 muestra los terminales de sensor ENC-1-1-T-24 y así poder establecer la correcta conexión con el PLC.

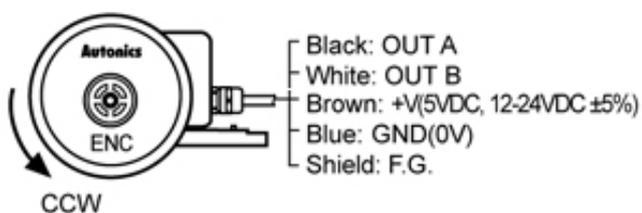


Figura 52 Terminales ENC-1-1-T-24

Fuente: (EDA, 2016)

Una vez analizado el diagrama de terminales del ENC-1-1-T-24, se establece la conexión detallada en la Tabla 21.

Tabla 21**Conexiones de terminales ENC-1-1-T-24**

Conexión ENC-1-1-T-24	
ENC-1-1-T-24	PLC S7 1200
Negro	I0
Blanco	I1
Café	+24 V
Azul	0 V

3.3. Implementación del software

Para todo sistema automatizado es necesaria la implementación de un software encargado del control de un proceso, el mismo que debe presentar como característica principal el fácil manejo y entendimiento para el operador. Al disponer de dispositivos de la marca SIEMENS se opta por el manejo del software TIA Portal, específico de dicha marca; para la programación del control y HMI del proceso.

A continuación se detalla la programación de los componentes que intervienen en el software del sistema automatizado de corte de chapa metálica, de igual manera se realiza el análisis de la red utilizada para el manejo de información del sistema.

3.3.1. Bloques de programación PLC

Para la programación del PLC se analizó el funcionamiento de la máquina, llegando a la conclusión de implementar dos formas de manejo del sistema, tanto manual como automático.

Es así que en el modo manual, el operario puede controlar el ingreso del material al sistema de corte, calibrando manualmente la distancia entre las guías laterales de la mesa de guiado y la separación entre los rodillos de arrastre, dependiendo de las características de la materia prima. Una vez colocado todo el material dentro del sistema, se procede con el encendido y accionamiento de la cizalla, para el reseteo de la longitud de avance de la lámina metálica y dar inicio al modo automático de corte. De igual manera,

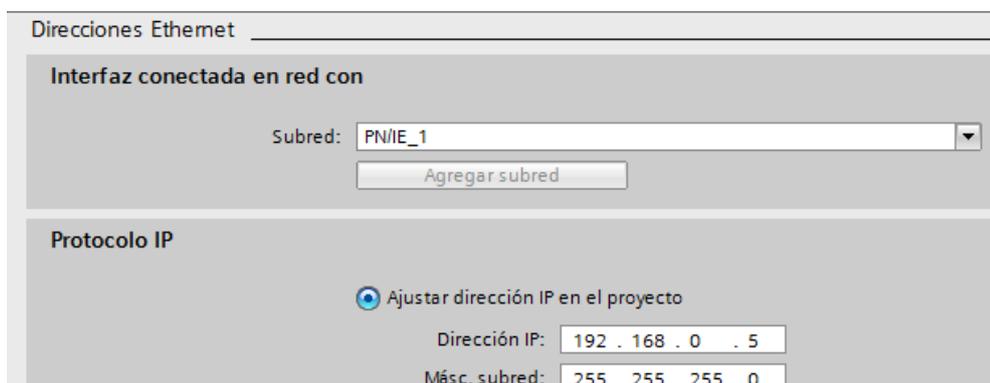
se puede controlar manualmente el retiro del material del sistema, con el arrastre y rebobinado de la lámina metálica.

Para el modo automático, el operario debe ingresar el número de cortes y la longitud deseada en cada corte, sin estos datos la máquina no será capaz de dar inicio al proceso. Una vez realizados los pasos requeridos, el operario se encarga de dar inicio al funcionamiento de la máquina, la misma que detendrá su marcha una vez cumplidos los números de cortes ingresados. Por motivos de seguridad, se cuenta con un paro de emergencia, el mismo que detiene en su totalidad el funcionamiento de la máquina (Ver ANEXO M).

De igual manera los bloques de programación para la implementación de la red, se realizan tanto en el PLC maestro como en el PLC esclavo, dependiendo de las áreas de transferencia programadas dentro del dispositivo esclavo.

3.3.2. Diseño HMI

Para el diseño del HMI es necesaria la configuración del Touch Panel KTP700, por lo que se establece una interfaz de comunicación PROFINET, con un protocolo de comunicación Ethernet con el PLC, garantizando así el intercambio de datos y el estado de las variables manejadas en el bloque de programación. En la Figura 53 se indica la configuración.



Direcciones Ethernet

Interfaz conectada en red con

Subred: PN/IE_1

Agregar subred

Protocolo IP

Ajustar dirección IP en el proyecto

Dirección IP: 192 . 168 . 0 . 5

Másc. subred: 255 . 255 . 255 . 0

Figura 53 Configuración Touch Panel

Una vez realizada la configuración del Touch Panel, se procede con el diseño del HMI; el software seleccionado posee varias herramientas que

vuelven práctica dicha implementación, facilitando la operación de la máquina.

Es así que se diseñan tres imágenes, la principal da paso a los dos modos de manejo del HMI y las dos últimas operan en el modo accionado por el operario. Con la ayuda de botones, visor de recetas, curvas, avisos, que son configurables, se procede con la configuración del HMI para el manejo del sistema automatizado. En las Figuras 54, 55 y 56 se observa el diseño de las 3 imágenes existentes.



Figura 54 Diseño imagen principal

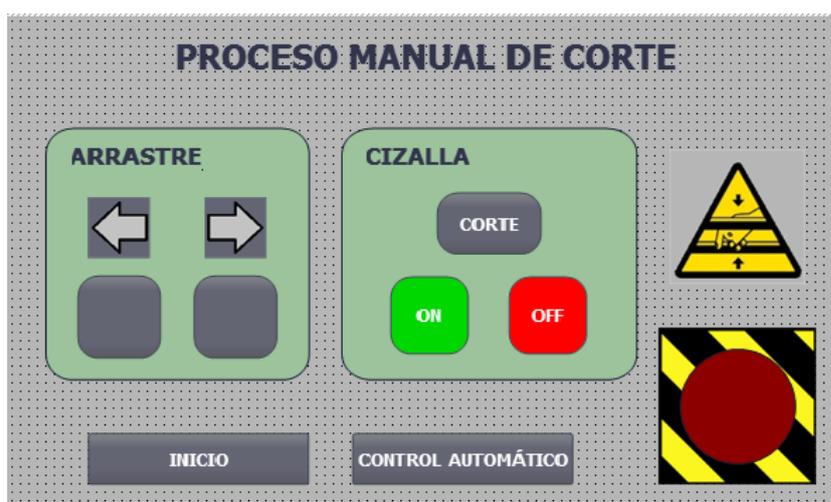


Figura 55 Diseño imagen mando manual

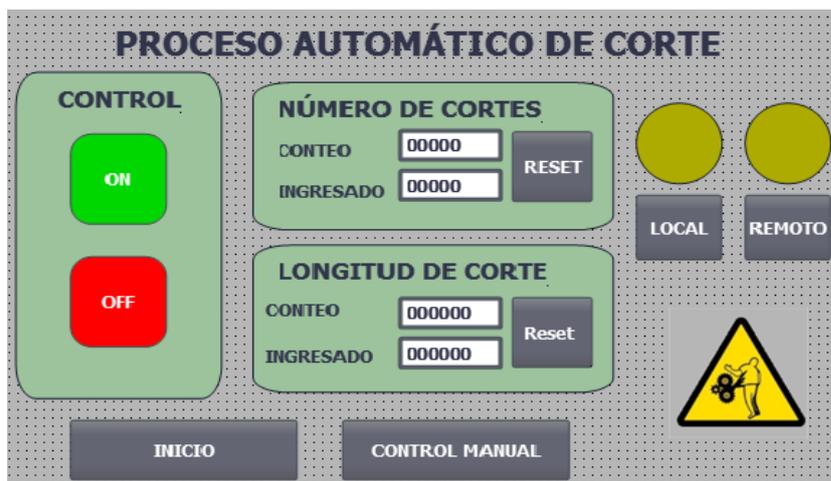


Figura 56 Diseño imagen mando automático

3.3.3. Calibración del sensor ENC-1-1-T-24

Al seleccionar un encoder que entrega señales de salida en altas frecuencias, se opta por trabajar con un contador rápido que ofrece el software TIA Portal en su librería de tecnologías, es necesaria la configuración y calibración del sensor, con el fin de no perder datos al momento de dar marcha al funcionamiento del sistema.

Para confirmar la implementación de un contador rápido se realizan varios cálculos, con el fin de hallar la frecuencia a la que trabaja el encoder. Para poder calcular la frecuencia a la que la señal va a llegar a la entrada digital integrada del PLC, se tiene en cuenta lo siguiente:

- La resolución del encoder.
- El lugar de montaje, que va a definir la velocidad de giro en rpm (revoluciones por minuto) del encoder.

Para el caso del encoder ENC-1-1-T-24, se tiene una resolución de 250 PPR (Ver ANEXO 14) y debido al variador de frecuencia implementado en el sistema se tiene una velocidad de 40 RPM.

Es así que se tiene:

$$1500 \text{ revoluciones} \rightarrow 1 \text{ minuto} = 60 \text{ segundos}$$

$$1 \text{ revolución} \rightarrow \left(\frac{1}{40}\right) * 60 = 1.5 \text{ segundos}$$

A continuación se debe calcular cada cuánto tiempo ingresa un pulso del encoder a la entrada digital.

$$Tiempo\ entre\ pulsos = T_p = \frac{1.5}{250} = 0.006\ segundos = 6\ milisegundos$$

Cada 6 milisegundos se tiene una señal del encoder, para conocer la frecuencia con la esta señal ingresa a la entrada %I0.0 del PLC, se tiene:

$$f_{entrada} = \frac{1}{6\ milisegundos} = 166.66\ Hz$$

Una vez calculada la frecuencia con la que trabaja el encoder, se verifica que este dentro del rango establecido para contadores rápidos (Ver ANEXO O) por lo que se descarta la posibilidad de trabajar con un contador rápido, es así que se implementa un contador normal, como muestra la Figura 57.

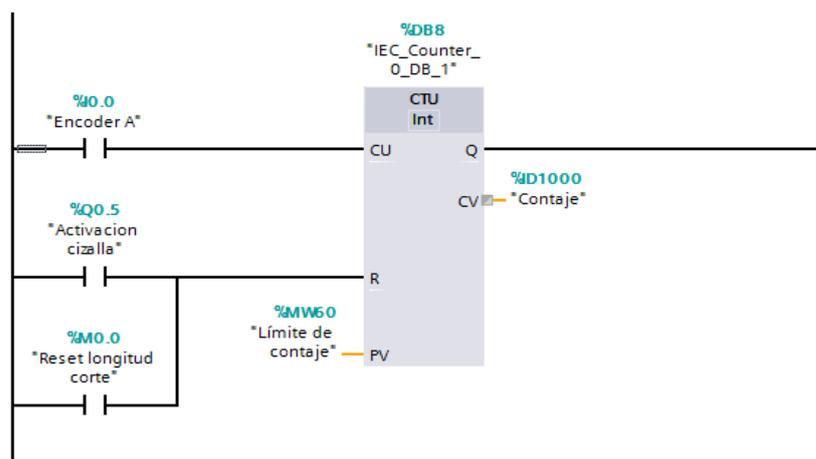


Figura 57 Implementación de un contador

3.3.4. Configuración variador de frecuencia

Se conoce que el variador de frecuencia trabaja directamente del teclado que posee en su estructura o mediante un controlador, en este caso un PLC. Por este motivo se requiere configurar varios parámetros con el fin de realizar un control únicamente mediante software.

Tabla 22
Guía de accionamiento

Código	Nombre del parámetro	Descripción
0.00	Comando de frecuencia	Este parámetro define la frecuencia de salida del variador. Durante la parada: comando de frecuencia Durante el funcionamiento: frecuencia de salida Durante la operación de múltiples pasos: frecuencia multipasos 0 No puede definirse en un valor superior a F21 (Frecuencia máxima)
ACC	Tiempo de aceleración	Durante la operación de aceleración/desaceleración múltiple, este parámetro sirve como tiempo de aceleración/desaceleración 0.
dEC	Tiempo de desaceleración	
drv	Modo de accionamiento	0 Funcionamiento/Parada con la tecla RUN/STOP del teclado
		1 Operación con borne FX: avance del motor RX: retroceso del motor
		2 Operación con borne FX: habilitación de funcionamiento/parada RX: Selección de giro inverso
		3 Comunicación RS485
Frq	Método de definición de frecuencia	0 Digital Definición del teclado 1
		1 Digital Definición del teclado 2
		2 V1 1: -10~+10[V]
		3 V1 2: 0~+10[V]
		4 Analógico Borne I: 0~20[mA]
		5 Definición con borne V1 1 + borne I
		6 Definición con borne V1 2 + borne I
		7 Comunicación RS485
		8 Volumen digital}
St1	Frecuencia multipaso 1	Define la Frecuencia multipaso 1 durante la operación en múltiples pasos.
St2	Frecuencia multipaso 2	Define la Frecuencia multipaso 2 durante la operación en múltiples pasos.
St3	Frecuencia multipaso 3	Define la Frecuencia multipaso 3 durante la operación en múltiples pasos.
CUr	Corriente de salida	Muestra la corriente de salida al motor.
rPM	RPM del motor	Muestra el número de RPM del motor.
dCL	Tensión de la conexión de CC del variador	Muestra la tensión de la conexión de CC en el interior del variador.
vOL	Visualización de la selección del usuario	Este parámetro muestra el ítem seleccionado en H73 - [Selección de ítem de monitoreo].
		vOL Tensión de salida
		POr Potencia de salida
		tOr Par

nOn	Visualización de fallo	Muestra los tipos de fallo, la frecuencia y el estado de operación al momento del fallo.
drC	Selección de la dirección de giro del motor	Define la dirección de giro del motor cuando drv - [Modo de accionamiento] está definido en 0 ó 1. F Avance r Retroceso

En la Tabla 22, se detalla los códigos de accionamiento para el variador de frecuencia, mediante este se establece que para dar una dirección de giro al motor se establece el parámetro 1 en el código drv, mientras que para controlar la frecuencia de giro se establece el parámetro de 3 en el código Frq del variador. De esta manera se obtiene un control mediante las salidas digitales y analógicas que posee el PLC.

3.4. Implementación de la Red Profibus

La red industrial que va a ser implementada dentro del sistema automatizado es una red Profibus DP, como indica la Figura 58, la misma que sirve para conectar unidades de campo descentralizadas, es decir, los actuadores y sensores de la máquina están distribuidos. Todos estos actuadores y sensores son abastecidos con datos de salida según el procedimiento de maestro/esclavo y suministran los datos de entrada en este caso al PC ubicado en las oficinas. Al poseer un carácter abierto, es posible realizar la conexión de componentes normalizados de otros fabricantes.

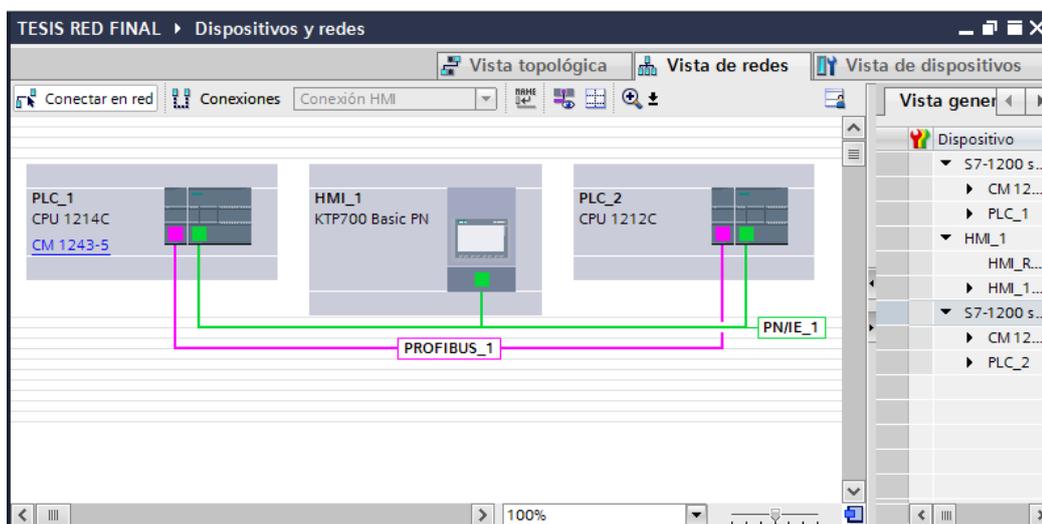


Figura 58 Red Profibus

3.4.1. Selección de dispositivos

El PLC que va a trabajar como el dispositivo maestro es el CPU 1212C AC/DC/Rly con el módulo de comunicación CM 1243-5, mientras que el dispositivo esclavo es un CPU 1214C AC/DC/Rly con el módulo de comunicación CM 1242-5, como muestran las Figuras 59 y 60 respectivamente.

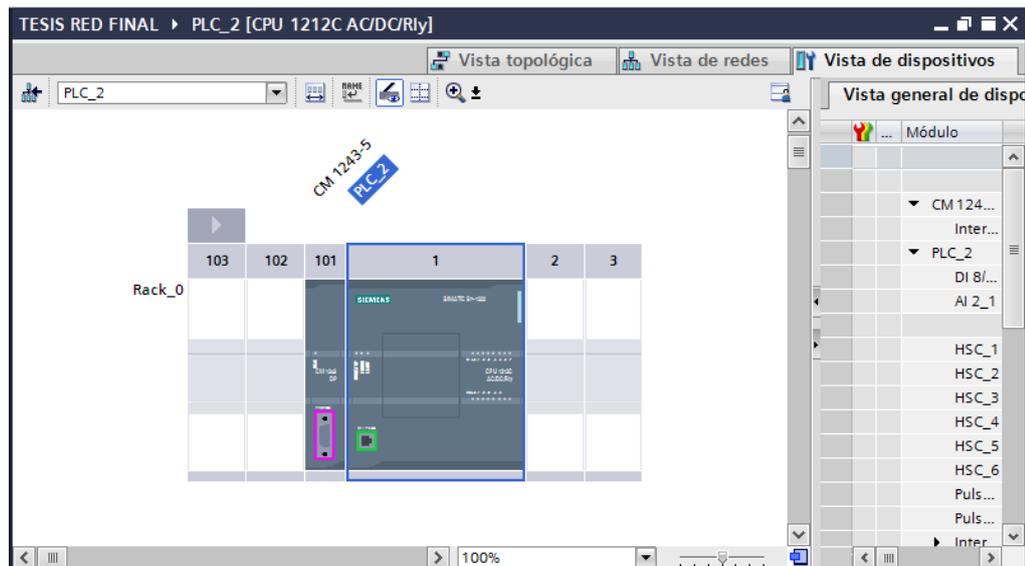


Figura 59 PLC Maestro

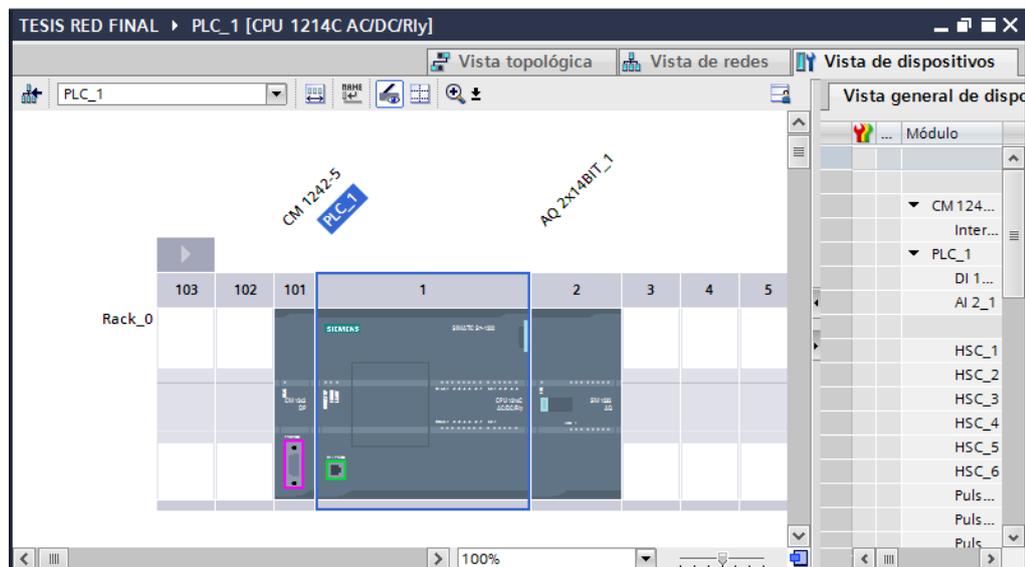


Figura 60 PLC Esclavo

3.4.2. Programación de dispositivos

Una vez seleccionados los dispositivos que van a formar parte de la red, se procede a crear áreas de transferencia dentro del módulo de comunicación esclavo, teniendo en cuenta la dirección de la comunicación, es decir maestro-esclavo o viceversa, tal como indica la Figura 61. Y posteriormente, se procede con la programación normal dentro de los bloques de programa del dispositivo maestro y esclavo (Ver ANEXOS P y Q).

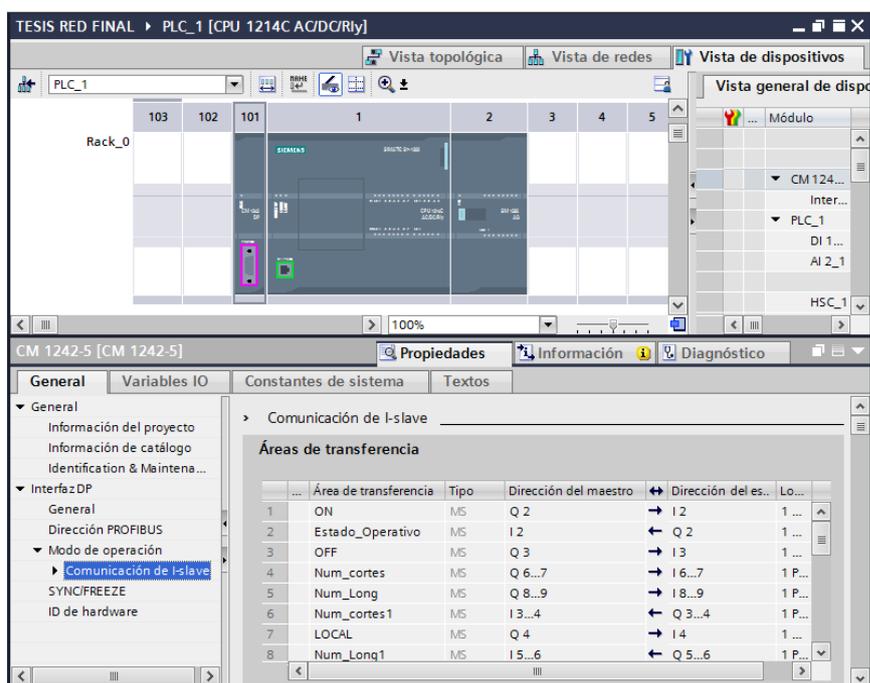


Figura 61 Creación de Áreas de Transferencia

3.4.3. Comunicación con Servidor OPC

Una vez concluida la programación, se procede a la creación de los Tags dentro del servidor OPC, permitiendo así al software NI LabVIEW comunicarse con el PLC maestro, tal como muestra la Figura 60.

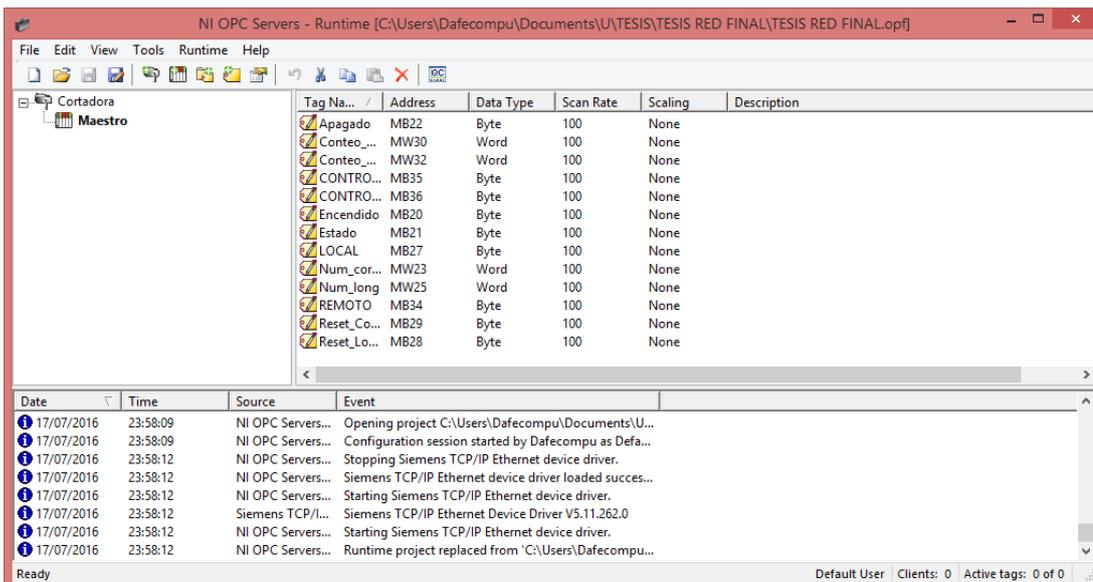


Figura 62 Creación de Tags dentro del Servidor OPC

Una vez creados los Tags, se procede con la verificación de la conexión entre en servidor OPC y el PLC maestro, como indica la Figura 63.

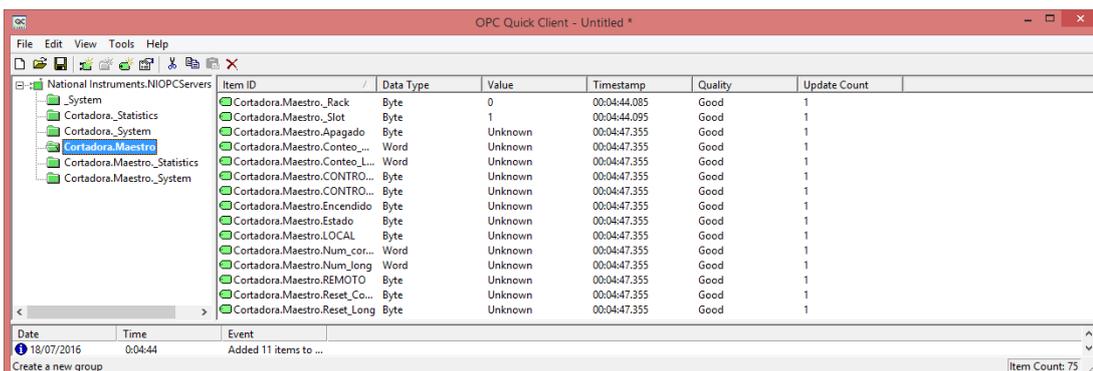


Figura 63 Verificación conexión de Servidor OPC y PLC

3.4.4. Diseño de HMI en software LabVIEW

Posterior a la creación de los Tags dentro del Servidor OPC, se procede con el diseño del HMI en el software LabVIEW, como muestran las Figuras 64 y 65.

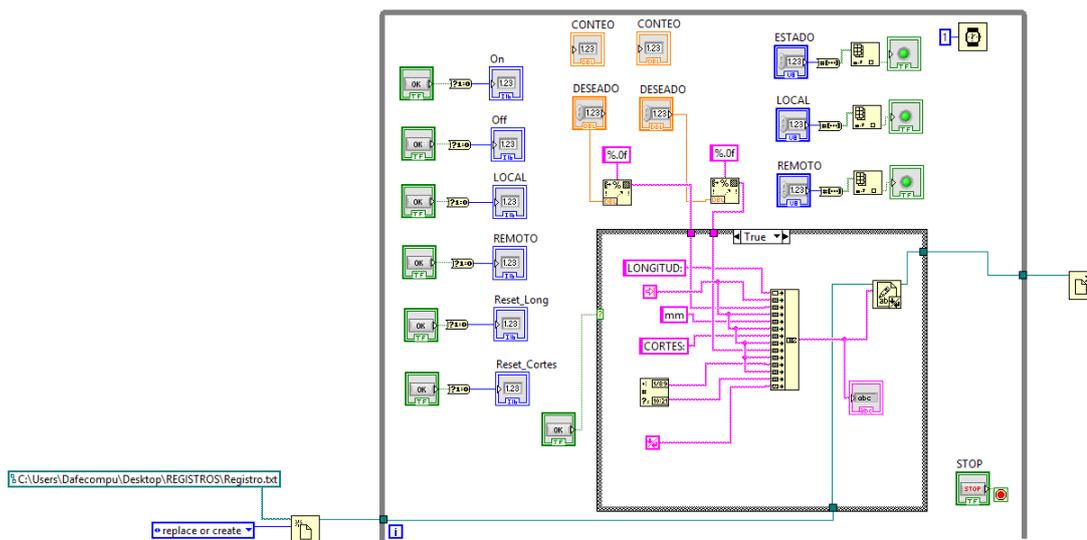


Figura 64 Diagrama de Bloques de HMI



Figura 65 Panel Frontal de HMI

Para la conexión entre el HMI diseñado en el software LabVIEW y la programación desarrollada en el software TIA Portal, se requiere configurar el Data Binding y posteriormente buscar dentro del servidor el Tag a la que desea vincular el indicador, tal como lo muestran las Figuras 66 y 67 respectivamente.

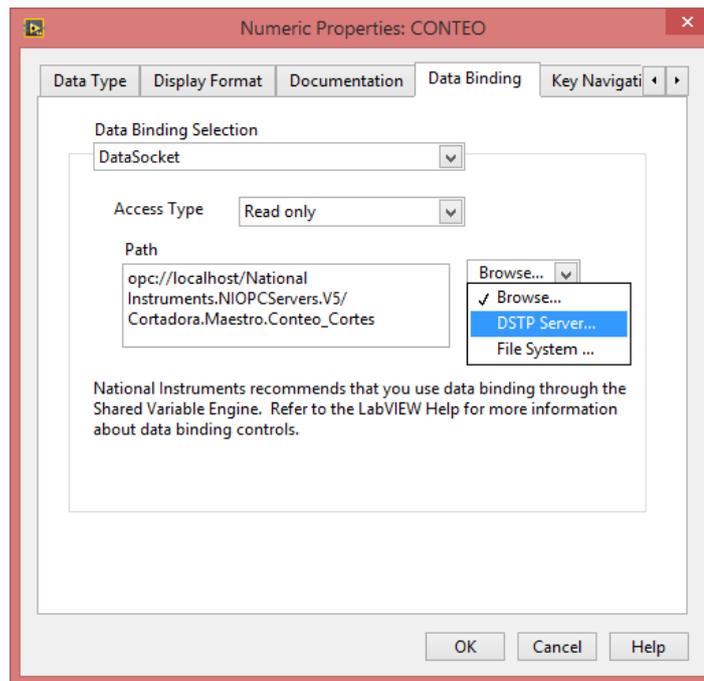


Figura 66 Configuración de Data Binding

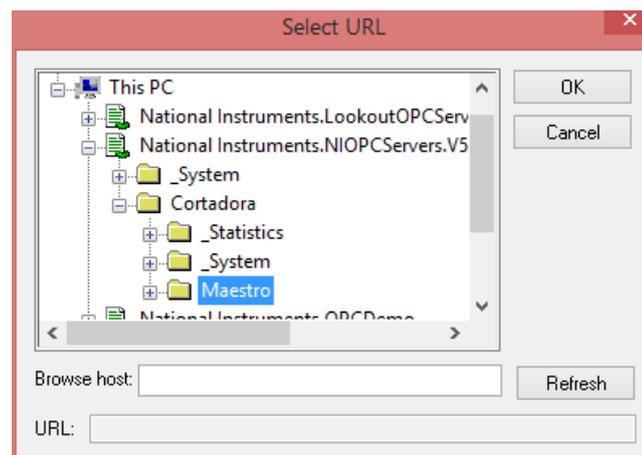
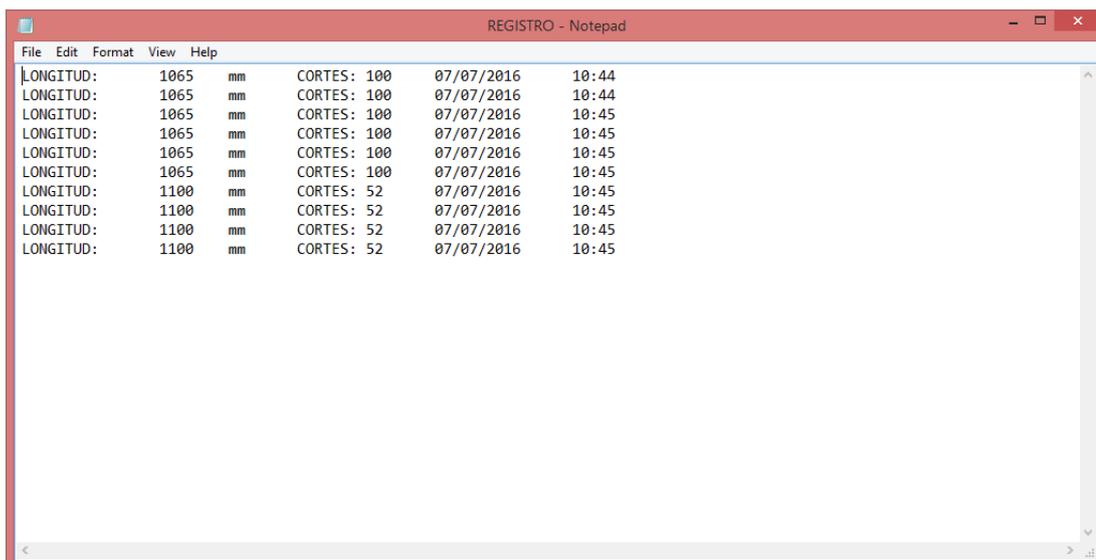


Figura 67 Búsqueda de Tag a la que se va a vincular

Como se observa en la Figura 65 gran parte de los mandos del HMI son los mismos que se presentan en la Figura 53, con la diferencia de que el dispositivo maestro, permite hacer un registro de los cortes realizados, dicho archivo se almacena dentro de una carpeta designada en el diagrama de bloques del HMI. El registro presenta la longitud de corte, el número de cortes realizados hasta el momento de guardar, la fecha y la hora en la que se guardan dichos datos, como indica la Figura 68.



LONGITUD:			CORTES:		
1065	mm		100	07/07/2016	10:44
1065	mm		100	07/07/2016	10:44
1065	mm		100	07/07/2016	10:45
1065	mm		100	07/07/2016	10:45
1065	mm		100	07/07/2016	10:45
1065	mm		100	07/07/2016	10:45
1100	mm		52	07/07/2016	10:45
1100	mm		52	07/07/2016	10:45
1100	mm		52	07/07/2016	10:45
1100	mm		52	07/07/2016	10:45

Figura 68 Registro de cortes de chapa metálica

De igual manera, se creyó útil el acceder al control automático del sistema de corte de chapa metálica, con el fin de permitir el ingreso de los datos de corte deseados tanto de las oficinas, como del tablero de control colocado junto a la máquina. Se considera que, tras habilitar uno de los mandos, ya sea local o remoto, inmediatamente queda deshabilitado el modo restante, de esta manera se garantiza que no existirán interrupciones, ni el cambio de los datos ingresados al momento de estar en funcionamiento el sistema.

3.4.5. Conexión Física de la red Profibus

Con el fin de garantizar una conexión rápida y sencilla de los conectores y cables, se opta por la técnica de pelado FastConnect, para lo cual se requieren 3 dispositivos: Cables de bus FastConnect, Herramienta peladora y el conector de bus FastConnect, como indica la Figura 69.

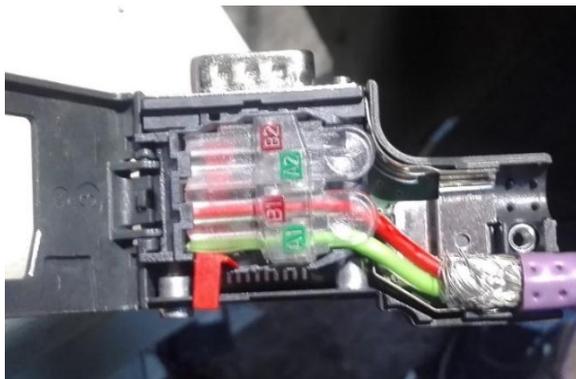


Figura 69 Conexión FastConnect

Por otra parte, no se requiere el uso de repetidores, ya que la red implementada cuenta con un solo nodo y una distancia máxima de 200 metros. Por la misma razón se considera apta la existencia de un solo esclavo, el mismo que trasfiere datos de forma cíclica con el dispositivo maestro. Esto quiere decir que, el dispositivo maestro es el encargado de transmitir información con el esclavo de forma automática y en un orden definido. Si los parámetros y configuración que posee el dispositivo esclavo coinciden con la configuración dada por el maestro, será capaz de transmitir los datos, caso contrario el dispositivo esclavo será excluido. De esta forma la red garantiza la inexistencia de error de parametrización dentro de la red implementada.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se analizará la variable independiente y dependiente, mismas que integran este proyecto, con el fin de comprobar la hipótesis planteada en un inicio.

4.1. Operacionalización de variables

4.1.1. Operacionalización de la variable independiente

La variable independiente para el proyecto es el análisis del bus de datos industrial. Mediante el uso de varios instrumentos se busca comprobar las especificaciones técnicas que presenta la red seleccionada. Dependiendo de cada dimensión presentada, el instrumento y el número de mediciones a realizarse resultarán ser diferentes, tal como se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23

Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores (Una sola vez)	Instrumento
Un bus de campo es un sistema de transmisión de información por un sólo cable de comunicación que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales (PLCs, transductores, actuadores y sensores) utilizados en el proceso de producción.	Velocidad	Kb/s Puestos de trabajo laboratorio	Analizador de Protocolos de Comunicación de Datos
	Distancia	Metros Puestos de trabajo laboratorio	Con respecto al equipo y bajo estándares de comunicación
	Tiempo de respuesta	Segundos Puestos de trabajo laboratorio	Analizador de Protocolos de Comunicación de Datos y bajo estándares de comunicación
	Capacidad de datos	Kb Puestos de trabajo laboratorio	Bajo estándares de comunicación
	Número de segmentos	Unidades Puestos de trabajo laboratorio	Bajo estándares de comunicación

CONTINÚA

Compatibilidad	Entre equipos	Con respecto al equipo y bajo especificaciones
	Puestos de trabajo laboratorio	

La variable independiente va a ser manipulada, pudiendo llegar a alterar el comportamiento de la variable dependiente y por consiguiente, se van a ver afectados los resultados esperados al final del desarrollo del proyecto.

a. Pruebas de la variable independiente

El instrumento utilizado para el análisis de algunas dimensiones que comprende la variable independiente, es el analizador de protocolos Profibus Tester 4, mismo que no necesita ninguna PC adicional, la herramienta de test sirve para un monitoreo continuo de la red.

a.1. Velocidad

Para medir la velocidad del bus de datos el sistema de comunicación está en total funcionamiento y transmitiendo. Para determinar la velocidad de transmisión de datos basta con conectar el Profibus Tester 4 a la red, este instrumento detecta de forma automática la velocidad del bus. La misma entrega como resultado, datos transmitidos a una velocidad de 1.5 Mb/s, como muestra la Figura 70.

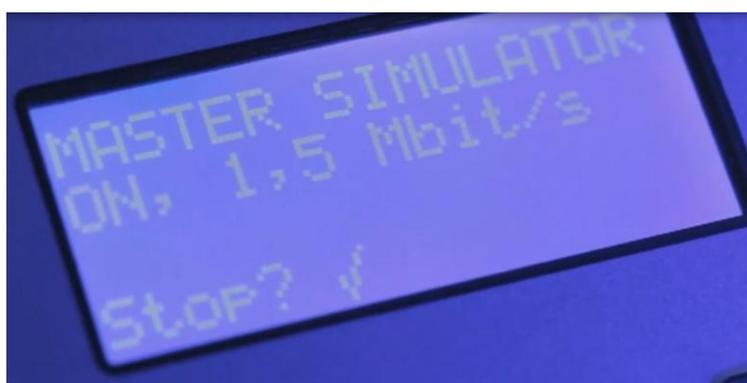


Figura 70 Velocidad de transmisión

Además la función de estado en tiempo real proporciona información completa del mismo, tanto del cableado del bus como de la comunicación, de tal manera que, de haber cables mal conectados o algún error en la

comunicación, dichos resultados se verán de forma concisa, como muestra la Figura 71.



Figura 71 Estado de la red Profibus DP

a.2. Distancia

En base a la velocidad medida con el Profibus Tester 4 y mediante el estándar de comunicación se logra comprobar la distancia total comprendida del bus industrial del sistema de corte de chapa metálica automático. El bus industrial cuenta con una velocidad de 1,5 Mb/s misma que se puede evidenciar en la Figura 70, y con respecto a las velocidades del estándar de comunicación Profibus IEC 61158, se tiene que la distancia de transmisión comprendida es de 200 metros.

a.3. Tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta de este bus según el estándar IEC 61158 es muy rápido, puesto que transmite 1 Kbyte de datos de entrada y salida en menos de 60 ms, siendo un tiempo de respuesta muy rápido para el control del sistema de corte de chapa metálica, mismo que se logró evidenciar en el funcionamiento del sistema.

a.4. Capacidad de datos

La capacidad de datos de entrada y salida por estación en el bus industrial Profibus DP es de 244 bytes a una velocidad de 1,5 Mb/s, con respecto al estándar IEC 61158.

a.5. Número de nodos

El número de nodos que soporta este tipo de bus industrial con respecto al estándar de comunicación es de 32 segmentos sin repetidores, mientras que con repetidores puede soportar 127 segmentos, en el sistema de corte de chapa metálico implementado consta de un segmento, debido a que nada más es una comunicación punto a punto.

a.6. Compatibilidad

La compatibilidad de los equipos se realizó de forma correcta, ya que todos los equipos utilizados fueron de marca SIEMENS, teniendo en cuenta que se tuvo que hacer una actualización del firmware para la utilización de componentes con versiones antiguas.

4.1.2. Operacionalización de la variable dependiente

La variable dependiente para el proyecto es el sistema de corte automático, se analizarán distintos parámetros que se ven relacionados en este proceso los mismos que se mencionan en la tabla 24.

Tabla 24

Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
El sistema de corte automático permite el ahorro de tiempo, personal y precisión, en todo el proceso de corte permitiendo de esta manera una solución muy confiable y efectiva.	Precisión	Milímetros Precisión en cada corte	Flexómetro
	Tiempo de corte	Minutos Tiempo de preparación por corte	Cronómetro
	Facilidad de operación	Parámetro del corte Operaciones que intervienen en cada corte	Registro de operación

De acuerdo a lo descrito en la Tabla 24, se procedió con el registro de las dimensiones de la variable dependiente, con el uso de los instrumentos definidos en dicha tabla. Los datos observados van a ser utilizados como referencia para el análisis del desempeño del sistema automatizado que se va a desarrollar.

a. Pruebas de la variable dependiente

Para las pruebas de la variable dependiente, los instrumentos a utilizar dependerán de cada una de las dimensiones especificadas en la Tabla 24. Para ambos casos tanto el corte manual, como el automático se consideró como base 100 cortes. A continuación se detalla cada una de las variables a comprobar.

a.1. Precisión

Para medir la precisión se necesita de un flexómetro, para poder registrar la longitud de cada uno de los cortes, tras haber realizado varias pruebas, se procede a contabilizar el número de veces en las que el corte resulto ser preciso, se considera aceptable una tolerancia del ± 2 .

Se creyó adecuado realizar el análisis de cortes que se ejecutan con mayor frecuencia dentro de la empresa, es por esta razón que se toman en consideración los cortes de lámina de 1030 mm de longitud, a continuación se presentan las Figuras 72 y 73, donde se observa la distribución de 100 muestras tomadas, tanto en el corte manual, como en el corte automático.

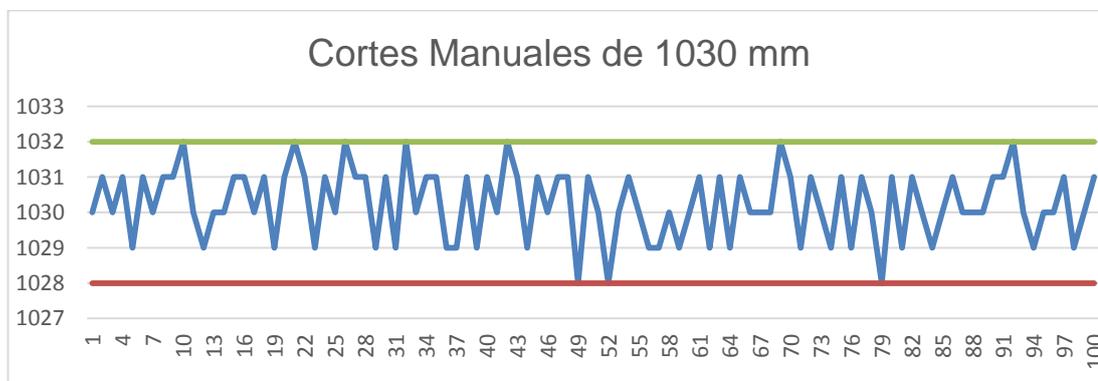


Figura 72 Cortes Manuales de 1030 mm

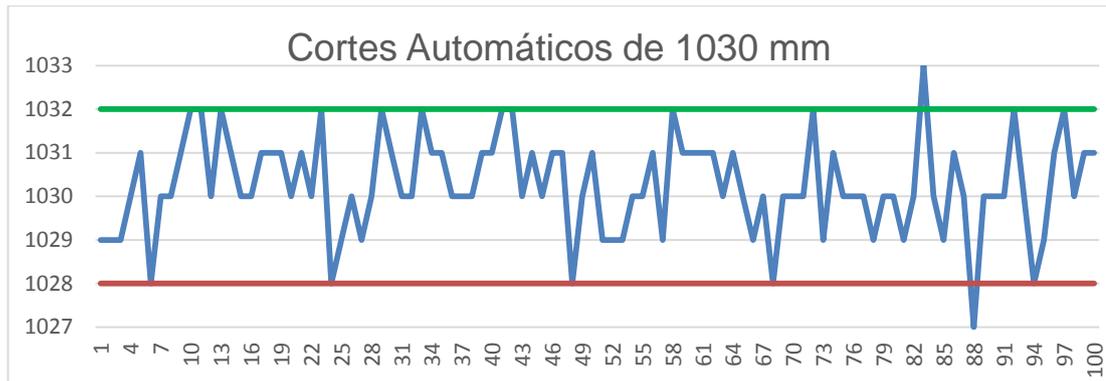


Figura 73 Cortes automáticos de 1030 mm

Tras comparar las dos gráficas, se observa que en el corte manual existe mayor cantidad de láminas con ± 1 mm de error, lo que no ocurre en el corte automático, pues existe un mayor número de láminas con 0mm de error. La presencia de láminas con ± 2 mm se considera similar en ambos casos, por no observar un aumento o descenso en la cantidad de dichos cortes, sin embargo, tras el corte automático se tiene la presencia de 2 láminas con ± 3 mm de falla, lo que no es considerable, representando el 2% del total de muestras tomadas, dichos cortes no se consideran como pérdida para la empresa, ya que son utilizados como material de prueba para el desarrollo de nuevos productos. Es por esta razón que se considera factible la implementación del sistema dentro de la empresa.

a.2. Tiempo de corte y preparación

Para el corte manual se considera como tiempo de corte la suma de ambos, teniendo en cuenta que el sistema automático realiza dichos procesos en forma secuencial, los espacios de preparación, van a ser analizados de igual manera para los dos casos.

A continuación se presenta la Tabla 25 y 26, en la que se muestran los resultados obtenidos en la medición del tiempo de corte y preparación respectivamente, para ambos procesos de corte.

Tabla 25**Medición del tiempo de corte**

Número de cortes	Longitud de corte (mm)	Tipo de corte	Valor	Tiempo de corte	
				Tiempo de corte	Tiempo de barolado
100	1030	Manual	15:07:67	11:45:63	03:24:04
100	1030	Automático	14:08:82	14:08:82	

Como se observa en la Tabla 25 el tiempo de corte automático para las 100 láminas de 1030 mm, se redujo aproximadamente en un minuto con respecto al corte manual, de tal manera que, considerando la obtención de 250 láminas de cada rollo de chapa metálica, se reduce el tiempo de corte a dos minutos y 30 segundos. Cabe mencionar que el tiempo de corte y preparación en forma manual depende directamente de la habilidad de los operarios, es decir si los trabajadores cuentan con mayor experiencia dentro de este proceso, el tiempo de corte va a ser bajo como sucedió en este análisis. Lo que no ocurre con trabajadores con poca habilidad.

Tabla 26**Medición del tiempo de preparación**

Tipo de corte	Valor	Tiempo de preparación	
		Tiempo de preparación de corte	Tiempo de preparación de barolado
Manual	03:37:61	01:36:39	02:01:22
Automático	03:43:53	03:43:53	

De igual manera, como muestra la Tabla 26, el tiempo de preparación para el sistema manual, incluye el tiempo de preparación de corte y de barolado, mientras que el tiempo de preparación para el sistema automático es uno solo. Comparando ambos tiempos, se observa que son aproximadamente similares, por lo que no se observa un aumento o descenso en el tiempo de preparación tras la implementación del sistema de corte automático.

Es así que, señalando que de forma manual se llegaban a cortar cerca de 4 rollos de chapa metálica, con la obtención de 250 láminas de cada uno y la presencia obligatoria de dos operarios, tras la implementación del sistema automático se redujo la presencia de un operario, ya que el control del proceso requiere solamente la presencia de un trabajador y se incrementó el corte de un rollo adicional en un ciclo diario de trabajo.

a.3. Facilidad de operación

Para la medición de la facilidad de operación, se determina la complejidad que presenta el manejo del HMI, el mismo que se diseñó teniendo en cuenta que va a ser operado por los trabajadores de la empresa Industria Metálica Cotopaxi, por lo que se consideró necesaria la instalación de alarmas, indicadores, botones y señalización dentro del HMI, de igual manera se cuenta con el ingreso práctico de los parámetros de corte, de esta manera se garantiza la fácil manipulación por parte de los operarios de la Empresa.

De los operarios capacitados para el manejo del sistema de corte automático de chapa metálica, ninguno presentó problemas al momento de operar la máquina, por lo que se considera como un control de fácil operación. Actualmente se cuenta con el manual de operación de la máquina (Ver ANEXO S).

4.2. Análisis comparativo

Tras haber realizado el análisis de las variables dependiente e independiente, a simple vista se concluye que la implementación del sistema de corte automático de chapa metálica resulta ser confiable. Sin embargo es importante analizar las ventajas y desventajas que poseen ambos sistemas de corte. La Tabla 27 muestra dichas características de las variables técnicas en el sistema de corte manual y automático.

Tabla 27

Ventajas y desventajas de las variables técnicas

Variable	Sistema de corte manual	Sistema de corte automático
Precisión	Elevada cantidad de cortes sin fallos Elevada cantidad de cortes con ± 1 mm de falla Baja cantidad de cortes con ± 2 mm de falla	Elevada cantidad de cortes sin fallos Elevada cantidad de cortes con ± 1 mm de falla Baja cantidad de cortes con ± 2 mm de falla Presencia casi nula de cortes con ± 3 mm de falla
Tiempo	Tiempo de preparación para ambos procesos (corte y rolado) Tiempo aceptable de preparación Tiempo de corte aceptable para menor longitud Tiempo de corte elevado para mayor longitud Tiempo aceptable de barolado	Un solo proceso de preparación Tiempo de preparación aceptable Tiempo de corte aceptable (incluido tiempo de barolado)

Como se observa en la Tabla 27, la implementación del sistema automatizado de corte de chapa metálica resulta ser factible, ya que se comprobó la mejora tanto en tiempo como en precisión.

De igual manera se analizó la reducción de mano de obra, puesto que en el sistema de corte manual, tanto para la preparación como para el proceso de corte y barolado, se requiere necesariamente la presencia de dos operarios. Mientras que para el sistema de corte automático, la presencia de dos operarios es necesaria solamente durante el proceso de preparación, una vez concluido, solo es requerida la presencia de un operario, el mismo que será capaz de verificar el correcto funcionamiento del proceso de corte y manejo del control.

4.3. Análisis de rentabilidad

Para el desarrollo de cualquier proyecto con fines empresariales, se considera importante realizar un análisis rentable, con el fin de tener una visión más clara y seguridad en el momento de esperar beneficios económicos de una inversión o emprendimiento.

Sabiendo que las láminas de chapa metálica, deben cumplir con varios procesos posteriores al corte, antes de llegar a manos del cliente, se realiza solamente un análisis de rentabilidad tomando en cuenta el salario del operario que se redujo.

La Tabla 28 indica el salario anual de un operario que gana el sueldo básico, considerando una tasa de incremento anual del salario básico unificado del 4%.

Tabla 28

Ventajas y desventajas de las variables técnicas

TIEMPO DE PRODUCCIÓN	SALARIO ANUAL
AÑO 1	\$ 4.392,00
AÑO 2	\$ 4.567,68
AÑO 3	\$ 4.750,39
AÑO 4	\$ 4.940,40
AÑO 5	\$ 5.138,02
TOTAL	\$ 23.788,49

Una vez analizados dichos valores se tiene que, tras la inversión inicial para el desarrollo del proyecto, de \$ 5.000,00 dólares (Ver ANEXO T y U) y la reducción de un operario para el control del sistema de corte automático, se observa que dicha inversión será recuperada a partir de segundo año de producción. Sin tomar en cuenta las ganancias que obtendrá la empresa tras las comercialización del producto finalizado.

4.4. Beneficio dentro de la empresa

El principal beneficio del proyecto desarrollado dentro de la empresa es de contar con materia prima suficiente para los distintos procesos de panelado posteriores al corte de chapa metálica.

Además se tiene en cuenta que en procesos repetitivos, con el paso del tiempo una persona deja de tener un buen rendimiento, disminuyendo en gran parte el tiempo de producción, por lo que el desarrollo del sistema

automático de corte de chapa metálica, se ha establecido como una herramienta de gran importancia, puesto que presenta versatilidad, fiabilidad y optimiza el tiempo de trabajo y manejo de recursos. Esto favorece también al operario, reduciendo el esfuerzo físico al mínimo, debido a que solamente se requiere la supervisión del funcionamiento del proceso.

De igual manera, debido a que la empresa Industria Metálica Cotopaxi desea efectuar a futuro más procesos repetitivos en línea, fue fundamental la implementación de una red industrial para el manejo y distribución de los datos que intervienen en cada uno de los sistemas.

Es importante que las industrias busquen su crecimiento continuo mediante la implementación de procesos que permitan una mayor producción y a menor costo, mediante el análisis y la aplicación de sistemas Mecatrónicos.

4.5. Validación de la hipótesis

El método estadístico chi cuadrado, sirve para someter a prueba hipótesis referidas a distribuciones de frecuencias. En términos generales, esta prueba contrasta frecuencias observadas con las frecuencias esperadas de acuerdo con la hipótesis nula.

Los pasos del análisis estadístico en este caso son los siguientes:

4.5.1. Planteamiento de la hipótesis

¿La implementación de los buses de datos industriales en el sistema de corte de chapa metálica automático con HMI, permitirá la integración de varios procesos en línea en la empresa Industria Metálica Cotopaxi?

4.5.2. Planteamiento de la hipótesis de trabajo y nula

Hipótesis de trabajo: La integración de varios procesos en línea depende de la implementación de los buses de datos industriales.

Hipótesis nula: La integración de varios procesos en línea es independiente de la implementación de los buses de datos industriales.

4.5.3. Designación de variables

Variable independiente: Buses de datos industriales.

Variable dependiente: Procesos en línea.

4.5.4. Valores observados

En la Tabla 29, se presentan los datos obtenidos en las pruebas realizadas, se analiza la relación de dependencia existente entre ambas variables.

Tabla 29

Valores observados

Procesos en línea/Buses de datos industriales	Desbobinado	Arrastre y Barolado	Corte
Dependientes	1	0	0
Independientes	4	5	5

4.5.5. Valor de frecuencias esperadas y observadas

En la Tabla 30 y 31 se observa la frecuencia observada y esperada respectivamente, para obtener los valores de cada frecuencia esperada se multiplica el total de cada columna y fila correspondiente a la celda que se desea obtener y se divide para la suma total.

Tabla 30

Frecuencia observada

Procesos en línea/Buses de datos industriales	Desbobinado	Arrastre y Barolado	Corte	TOTAL
Dependientes	1	0	0	1
Independientes	4	5	5	14
TOTAL	5	5	5	15

Tabla 31

Frecuencia esperada

Procesos en línea/Buses de datos industriales	Desbobinado	Arrastre y Barolado	Corte	TOTAL
Dependientes	0.33	0.33	0.33	1
Independientes	4.67	4.67	4.67	14
TOTAL	5	5	5	15

4.5.6. Cálculo de chi cuadrado

Para obtener el valor de chi cuadrado se tiene la Ec. 24

$$x^2_{calc} = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

f_0 Frecuencia del valor observado

f_e Frecuencia del valor esperado

Reemplazando los datos de las Tablas 30 y 31 en la Ec.24 se tiene:

$$x^2_{calc} = \frac{(1 - 0.33)^2}{0.33} + 2 \left(\frac{(0 - 0.33)^2}{0.33} \right) + \frac{(4 - 4.67)^2}{4.67} + 2 \left(\frac{(5 - 4.67)^2}{4.67} \right)$$

$$x^2_{calc} = 1.36 + 0.66 + 0.0961 + 0.0466$$

$$x^2_{calc} = 2.1627$$

4.5.7. Cálculo del grado de libertad y nivel de significancia

El valor del grado de libertad se obtiene mediante la Ec 25.

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1) \quad \text{Ec. 25}$$

Reemplazando los valores respectivos se tiene:

$$v = (2 - 1) * (3 - 1)$$

$$v = 2$$

El nivel de significancia es el error que se puede cometer al rechazar la hipótesis nula siendo verdadera; por lo general se trabaja con un nivel de significancia de 0,05; que indica que hay una probabilidad del 95% de que la hipótesis nula sea verdadera. 95%.

4.5.8. Análisis de chi cuadrado mediante tabla

Una vez deducido el grado de libertad y el nivel de significancia, se obtiene el valor de chi cuadrado mediante la tabla del ANEXO R, siendo este:

$$x^2_{tabla} = 5.99$$

Para el análisis por chi cuadrado se tiene la siguiente condición: Si $x^2_{calc} \leq x^2_{tabla}$, entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de trabajo, mientras que si $x^2_{calc} > x^2_{tabla}$, entonces se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la hipótesis nula.

Es así que mediante los resultados obtenidos, se tiene:

$$x^2_{calc} = 2.1627 < x^2_{tabla} = 5.99$$

Por tal razón se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de trabajo; es decir, la integración de varios procesos en línea es independiente de la implementación de los buses de datos industriales.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema de corte de chapa metálica automático con HMI, mediante el análisis de los buses de datos industriales, para la producción en serie de la empresa Industria Metálica Cotopaxi.
- Se redujo el tiempo total de corte automático de chapa metálica, incluyendo el tiempo de preparación y tiempo de rolado; en comparación con el corte manual, en dos minutos y 30 segundos, para cada rollo de material, Incrementando así el corte de un rollo adicional en un ciclo diario de trabajo.
- Se obtuvo una reducción de la precisión de corte, con la presencia de mayor cantidad de láminas con 0 mm, considerando aceptable la tolerancia de ± 2 mm en cada corte, teniendo en cuenta la presencia de un bajo número de láminas con ± 3 mm de falla, lo que no significa pérdida para la empresa Industria Metálica Cotopaxi, por lo tanto el sistema resulta factible.
- Se redujo la mano de obra a un solo operario para el control del sistema de corte automático, el mismo que verificará el correcto funcionamiento de la máquina, obviando la etapa de preparación, en la que obligatoriamente se requerirá la presencia de dos operarios para el ingreso de la materia prima al sistema.
- Mediante un análisis de rentabilidad, se observó que, tras reducir la presencia de un operario, la recuperación total de la inversión inicial, se dará a partir del segundo año de producción.

- Tras comparar los resultados obtenidos con el analizador de protocolos Profibus Tester y la norma estándar de comunicación Profibus IEC 61158, se obtiene un error del 0% en cuanto a velocidad y distancia, ya que está establecido que, para una distancia de 200 metros la velocidad a la que se transmiten los datos dentro de la red es de 1.5 Mb/s.
- Se evidenció la fácil implementación de la red Profibus, ya que no representa una programación compleja a comparación de la red Modbus TCP/IP en la que es necesaria la sincronización de tiempos dentro del PLC, por lo que se comprobó la facilidad de integrar nuevos procesos futuros, como crea conveniente la empresa.
- Tras el análisis de los buses industriales, se optó por la implementación de la red Profibus DP, considerándola como la opción dominante en cuanto a distancia teniendo en cuenta que tiene la capacidad de soportar 120 segmentos de 32 nodos cada uno a una distancia de 1200 metros, a comparación de la opción más cercana que fue Modbus TCP/IP la misma que soporta 240 nodos a una distancia máxima de 100 metros.
- Con la implementación de la red industrial Profibus DP, se logró obtener un control local y remoto del sistema de corte automático de chapa metálica, estableciendo que tras habilitar uno de los dos mandos, inmediatamente se inhabilita el mando restante, es así que se asegura que no existirán cambios en los parámetros de corte ingresados
- Se rediseño el tablero eléctrico de la máquina desbobinadora de chapa metálica, con el fin de permitir la adaptación de esta al sistema de corte automático, teniendo en cuenta la implementación de dos controles, el control manual que da paso al ingreso del material dentro del sistema y el control automático que se encarga del corte en serie de chapa metálica.

5.2. Recomendaciones

- Para el corte de bobinas de más de 1000 Kg, se recomienda sustituir la desbobinadora por una de mayor capacidad, ya que la desbobinadora que se encuentra en el sistema soporta como máximo 1000 Kg.
- Tanto el mecanismo de arrastre-rolado y el mecanismo de guiado están diseñados para un ancho de chapa metálica de 1220 mm, para utilizar toda esta capacidad, se recomienda sustituir la cizalla de corte debido a que la capacidad de la misma es hasta de 1000mm.
- Para que el sistema sea totalmente autónomo, se recomienda implementar un sistema automático de apilamiento de láminas cortadas, debido a que las mismas se acumulan rápidamente y el operario tiene que moverlas de forma manual.
- Para el sistema de guiado se recomienda poner guías de rodillos móviles, debido a que las guías fijas tienden a sujetar el material evitando de esta manera el libre desplazamiento de la chapa metálica por el sistema.
- Para mejoras en la precisión del corte se recomienda la implementación de un encoder que posea una mayor resolución, garantizando el conteo exacto de cada desplazamiento, ya que el equipo actual tiende a perder datos de forma inesperada, es por esta razón que se tiene la presencia de cortes con una falla de ± 3 mm.
- Realizar un mantenimiento periódico de la cizalla, exclusivamente de los pistones que sujetan la chapa metálica el momento del corte, debido a que estos pueden quedar sujetando la chapa metálica e impidiendo la circulación de la misma, por lo que perjudica al sistema de arrastre- rolado esforzando el motor.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México,D.F.: Mc Graw Hill.
- Guerrero, V., Yuste, R. L., & Martínez, L. (2009). *Comunicaciones Industriales*. México,D.F.: Alfaomega.
- L. Norton, R. (2009). *Diseño de maquinaria*. México,D.F.: McGraw-Hill.
- Martínez Sarmiento, R. A., & Ramíres Portero, C. E. (06 de 2011).
- Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. España: UNED.
- Peña, J. D., Gámiz Caro, J., & Grau i Saldes, A. (2003). *Comunicaciones en el entorno industrial*. Barcelona, España: UOC.
- Riba Romeva, C. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona, España: Marcombo.
- Rodríguez Penin, A. (2008). *Sistemas SCADA (2a. ed.)*. España: Marcombo.
- Ruiz Olaya, A. F. (2002). *Implementación de una red Modbus TCP*. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Salazar Serna, C. A., & Correa Ortiz, L. C. (2011). Buses de campo y protocolos en redes industriales. *Universidad de Manizales*, 27.

NETGRAFÍA

- Arango Betancur, G. (Mayo de 2011). *METAL ACTUAL*. Recuperado el 05 de Enero de 2016, de http://www.metalactual.com/revista/20/maquinaria_roladoras.pdf
- ARCEL, A. I. (2014). *Desbobinadoras de chapa* . Recuperado el 03 de septiembre de 2015, de <http://www.arcel.com.br/produtos/automacao/desbobinadores.php#&panel1-2>
- Automation24. (2016). Recuperado el 03 de Octubre de 2015, de <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-sm-1232-aa-6es7232-4hb32-0xb0-i101-1723-0.htm>
- Automation24. (2016). Recuperado el 03 de Octubre de 2015, de <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/panel-hmi-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0-i102-1729-0.htm>
- CARVEN, A. (2016). Recuperado el 03 de Agosto de 2015, de <http://www.carven-shop.com/comunicacion/112-modulo-de-comunicacion-1243-5-siemens.html>
- EDA, I. C. (2015). *Encoder Rotatorio*. Recuperado el 03 de Enero de 2015, de <http://www.edaintromit.com/product/detail/197/Rotary-Encoder-ENA-Series>
- ETS de Ingenieros Industriales. (2011). *Universidad Politécnica de Cartagena*. Recuperado el 03 de Junio de 2015, de <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteoria.pdf>
- GmbH. (Julio de 2011). *Softing Industrial Automation* . Recuperado el 03 de Enero de 2016, de <http://industrial.softing.com/en/products/network-diagnostics/commissioning-and-troubleshooting/profibus/profibus-tester-4-quick-and-easy-testing-of-bus-physics-and-bus-communication.html>

- HMK, A. G. (2016). Recuperado el 12 de Enero de 2016, Obtenido de <http://www.hmkdirect.com/shop/6ES7212-1BE31-0XB0/>
- INFOPLC.NET. (2007). *InfoPLC: Actualidad y recursos sobre Automatización Industrial*. Recuperado el 6 de Agosto de 2015, de Historia de las comunicaciones industriales: http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu_Comunicacion/infoPLC_net_Historia_Comunicaciones_Industriales.html
- Kinco Electric, (. L. (2009). Recuperado el 04 de Marzo de 2016, de http://es.made-in-china.com/co_kinco-electric/image_HMI-Touch-Screen-for-PLC-Mt4404t-7-16-9-HMI-Touch-Screen_euggrnig_kZSEQovIYLbt.html
- Masvoltaje. (2014). *Automatización*. Recuperado el 09 de Marzo de 2016, de <http://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1198-simatic-s7-1200-cpu-1214c-cpu-compacta-ac-dc-rele-6940408101319.html>
- National Instruments, N. (15 de Octubre de 2014). *Introducción a Modbus*. Recuperado el 07 de Agosto de 2015, de <http://www.ni.com/white-paper/7675/es/>
- Punglim. (2015). Recuperado el 08 de Octubre de 2015, Obtenido de http://www.punglim.co.kr/lg/inver_ig5.html
- Rivadeneira Jordán, A. E. (03 de 2015). Recuperado el 09 de Septiembre de 2015, de <http://dSPACE.UPS.EDU.EC/bitstream/123456789/10390/1/UPS-GT001426.pdf>
- ST Controls. (2015). Recuperado el 03 de Diciembre de 2015, de http://www.lowcostcontrols.com/3-phase-200-230v,-sensorless-vector-control,-built-in-breaking-unit-c-1_2_5_6.html?language=es
- Técnicas Aragonesas Salazar, S. (2013). *Interempresas*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de Feria Virtual: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Productos/Cizallas->

Guillotinas-hidraulicas.html#!Producto-Cizalla-guillotina-hidraulica-Maqfort-Hgd-3006-54374

Vásquez López, V. (2005). *Tecnológico de Monterrey*. Recuperado el 05 de Agosto de 2015, de Redes Industriales: <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/profibus.htm>

Via Industrial. (2015). Recuperado el 07 de Octubre de 2015, de <http://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=223635>

WEG. (Diciembre de 2012). *Relé Inteligente*. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de Manual de la Comunicación Modbus-RTU: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf>

WEG, E. E. (2015). *Motores eléctricos*. Recuperado el 14 de Enero de 2016, de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Alta-Tens%C3%A3o/c/BR_MT_3PHASE_HV

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. **Edwin David Basantes Guamushig** y la Srta. **Ana Gabriela Palomo Guilcamaigua**

En la ciudad de Latacunga, a los **17 días del mes de agosto del 2016.**

APROBADO POR:


Ing. Héctor Terán
DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE CARRERA




Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADEMICO