



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

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

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

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
POSICIONAMIENTO DE LA ESCUADRA Y AUTOMATIZACIÓN
DE LA GUILLOTINA INDUSTRIAL POLAR 145”**

AUTOR: VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES

DIRECTOR: ING. XAVIER SEGOVIA

SANGOLQUÍ, 2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL POSICIONAMIENTO DE LA ESCUADRA Y AUTOMATIZACIÓN DE LA GUILLOTINA INDUSTRIAL POLAR 145" realizado por el señor VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES, 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 al señor VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 08 de junio del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edison Seg", is written over a horizontal dashed line.

ING. EDISON XAVIER SEGOVIA DE LA GUERRA

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES, con cédula de identidad N° 1718025669, declaro que este trabajo de "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL POSICIONAMIENTO DE LA ESCUADRA Y AUTOMATIZACIÓN DE LA GUILLOTINA INDUSTRIAL POLAR 145" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Sangolquí, 08 de junio del 2016

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Cristian Andres Valladares Valenzuela', is written over a horizontal dashed line.

VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES

C.C1718025669



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES, autorizo 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 CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL POSICIONAMIENTO DE LA ESCUADRA Y AUTOMATIZACIÓN DE LA GUILLOTINA INDUSTRIAL POLAR 145" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 08 de junio del 2016



VALLADARES VALENZUELA, CRISTIAN ANDRES

C.C1718025669

Dedicatoria

A mi dios, a mis hermanos y amigos.

Agradecimientos

Agradezco mi Dios por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida, a mi Director, Ing. Xavier Segovia que siempre estuvo ahí para ayudarme en todas mis dudas y problemas que se presentaron.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
Resumen	xv
Abstract	xvi
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	2
1.3 Alcance Del Proyecto	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1. GENERAL	4
1.4.2. ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
GUILLOTINA INDUSTRIAL	5
2.1 Definición	5
2.2 Tipos de Guillotinas.....	6
2.2.1 Guillotina Cortadora.....	6
2.2.2 Guillotina Lineal	7
2.2.3 Guillotina lineal semi automática.....	8

2.2.4	Guillotina lineal programable automática	9
2.3	Partes de la guillotina	10
2.3.1	Funcionamiento	12
2.4	Materiales de Corte	15
2.5	Descripción del PLC Micrologix 1100	16
2.6	Interfaz HMI.....	20
2.6.1	Arquitectura	20
2.6.2	Distribución de las Pantallas	21
2.6.3	Navegación.....	23
2.6.4	Uso del Color	24
2.6.5	Hardware	25
2.6.6	Software	27
2.7	Sensores	29
2.8	Sensor Inductivo de Proximidad	29
2.8.1	Sensor de Posición	32
2.9	Sistemas de Control	34
2.9.1	Control Proporcional	34
2.9.2	Control Proporcional Integral	34
2.9.3	Control Proporcional, Integral y Derivativo	35
2.9.4	Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID..	36
CAPÍTULO 3.....		41
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....		41
3.1	Estado Actual de Guillotina	41
3.1.1	Requerimientos del Sistema	42

3.1.2	Determinación de Materiales	43
3.1.3	Implementación	51
3.2	Identificación de Planta	57
3.3	Desarrollo del sistema de control	62
3.3.1	Diseño del Control y Simulación	62
3.3.2	Proceso de Implementación.....	66
3.3.3	Tabulación y Resultados.....	71
3.4	Desarrollo de interfaz	73
3.4.1	Diseño	74
3.4.2	Proceso de Implementación.....	81
CAPÍTULO 4.....		90
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		90
4.1	Análisis del sistema Automatizado	90
4.1.1	Población.....	92
4.1.2	Muestra.....	93
CAPÍTULO 5.....		96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		96
5.1	Conclusiones.....	96
5.2	Recomendaciones.....	97
6	Bibliografía.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características específicas Micrologix 1100	17
Tabla 2	Características de Panel View C 600.....	26
Tabla 3	Requisitos de hardware Connected Components Workbench	28
Tabla 4	Requisitos de Software Connected	28
Tabla 5	Resumen de Características de Acciones de control	36
Tabla 6	Regla de Sintonía de Zigler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta	39
Tabla 7	Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica y periodo crítico	40
Tabla 8	Requisitos de la Empresa	42
Tabla 9	Evaluación del peso específico de cada criterio.....	43
Tabla 10	Evaluación del peso específico del criterio peso	44
Tabla 11	Evaluación del peso específico del criterio alta fiabilidad	45
Tabla 12	Evaluación del peso específico del criterio precisión y exactitud..	47
Tabla 13	Evaluación del peso específico del criterio precio	49
Tabla 14	Tabla de Conclusiones	50
Tabla 15	Calculo de constantes.....	64
Tabla 16	Precisión y exactitud en la medida.....	72
Tabla 17	Parámetros experimentales	73
Tabla 18	Descripción de Plantilla de Pantalla Principal	76
Tabla 19	Dimensiones de Pantalla Principal.....	76
Tabla 20	Descripción de Pantalla de Modos Automático y Manual.....	77
Tabla 21	Dimensiones de la Plantilla de Modos Automático y Manual	78
Tabla 22	Color de texto	79
Tabla 23	Código RGB	80
Tabla 24	Tipo y tamaño de letra	80
Tabla 25	Descripción de Pantalla Principal.....	82
Tabla 26	Descripción de Pantalla Modo Manual.....	83

Tabla 27	Descripción de Pantalla Modo Automático	84
Tabla 28	Descripción de Pantalla de Listas	86
Tabla 29	Descripción de Pantalla Configuración	87
Tabla 30	Descripción de Pantalla Configuración Avanzada	88
Tabla 31	Datos de Posición	90
Tabla 32	Tiempos de producción con y sin Sistema Control	92
Tabla A1	Datos de la planta	AnexoA
Tabla A2	Medida versus pulsos	AnexoA
Tabla A3	Precisión y Exactitud	AnexoA
Tabla A4	Lista de Materiales	AnexoA
Tabla A5	Costo Mano De Obra	AnexoA
Tabla A6	Costos De Material Indirecto	AnexoA
Tabla A7	Costos Imprevistos	AnexoA
Tabla A8	Costo Total	AnexoA
Tabla A9	Costos Comparativos	AnexoA
Tabla A10	Asignación de variables	AnexoA
Tabla A11	Especificaciones técnicas de los materiales a adquirir	AnexoA
Tabla A12	Especificaciones Técnicas de Materiales Adquiridos	AnexoA
Tabla A13	Costo vs Ganancia	AnexoA

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Cortadora de etiquetas TECNOFLEX C320	6
Figura 2	Guillotina lineal Polar 115.....	7
Figura 3	Guillotina Automática POLAR 115.....	10
Figura 4	Partes de la Guillotina lineal	10
Figura 5	Sistema hidráulico.....	13
Figura 6	Pisón ajustando material a cortar	13
Figura 7	Pulsadores De Activación	14
Figura 8	Cuchilla Bajada Y Corte De Material	14
Figura 9	PLC Micrologix 1100	19
Figura 10	Ejemplo de arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles	20
Figura 11	Ejemplo de un aplantilla para un sinóptico de proceso	22
Figura 12	Panel view Modelo C 600.....	25
Figura 13	Sensor inductivo con y sin presencia de metal	31
Figura 14	Conexión de sensores inductivos DC.....	32
Figura 15	Discos de encoder incremental, absoluto y lineal	33
Figura 16	Señales del canal A y canal B	33
Figura 17	Control PID de una planta	37
Figura 18	Respuesta a un escalón unitario de una planta	38
Figura 19	Curva de respuesta en forma S.....	38
Figura 20	Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional	39
Figura 21	Oscilación sostenida con periodo.....	40
Figura 22	Soporte para adaptación de encoder	51
Figura 23	Adaptaciones Mecánicas Para Encoder	52
Figura 24	Soporte inductivo tipo 1	53
Figura 25	Soporte inductivo tipo 1	54
Figura 26	Final de carrera hacia atrás vista superior.....	55
Figura 27	Final de carrera hacia adelante vista lateral	55

Figura 28 Sensor de pisón	56
Figura 29 Sensor de cuchilla.....	57
Figura 30 Gráfico Voltaje y Velocidad Vs Tiempo.....	58
Figura 31 Herramienta Ident configurada en dominio del tiempo	59
Figura 32 Ingreso de variables de entrada y salida	60
Figura 33 Selección de modelo en este caso llamado P1D.....	60
Figura 34 Porcentaje de modelo al real.....	61
Figura 35 Respuesta al escalón de la planta.....	63
Figura 36 Esquema de sistema de control en Simulink	65
Figura 37 Respuesta del sistema al escalón con el PID estimado.....	65
Figura 38 Sensor de seguridad de la cuchilla.....	67
Figura 39 Células fotoeléctricas de seguridad.....	67
Figura 40 Fusibles en el gabinete	68
Figura 41 Breakers en el gabinete	69
Figura 42 Micrologix en el Gabinete	70
Figura 43 Drive en el gabinete	71
Figura 44 Ecuación de Medida.....	72
Figura 45 Arquitectura y Navegación de HMI.....	74
Figura 46 Plantilla general para HMI	75
Figura 47 Plantilla de modos automático y manual	77
Figura 48 Pantalla Principal	81
Figura 49 Pantalla Modo Manual.....	82
Figura 50 Pantalla Modo Automático	84
Figura 51 Pantalla de Listas	85
Figura 52 Pantalla de Configuración	86
Figura 53 Pantalla de Configuración Avanzada.....	88
Figura 54 Tiempo de Respuesta	91
Figura 55 Población y Grupo de Muestras	93
Figura 56 Tiempo Vs Corte	94
Figura 57 Precisión y Exactitud	94

Figura 58 Costo vs Ganancia 95

Resumen

El presente documento recopila información del desarrollo y la implementación de un sistema de control para la optimización del posicionamiento de la escuadra y la automatización de la guillotina industrial Polar 145. Para cumplir con este objetivo es necesario la recolección de información sobre la máquina y las necesidades de la empresa en donde se pretende realizar esta automatización para ello se investigan y analiza el proceso de corte, la estructura mecánica y eléctrica de la máquina, y la rentabilidad. Para el diseño que se implementa se usa algoritmos de controladores clásicos de control así como respectivas adaptaciones mecánicas a la máquina para un buen funcionamiento y la realización de una interfaz humana máquina que cumpla con las necesidades del operador para el manejo del sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **ARTES GRÁFICAS**
- **GUILLOTINA INDUSTRIAL**
- **POSICIONAMIENTO DE ESCUADRA**
- **IMPRESA**
- **SISTEMA DE CONTROL**

Abstract

The present document compiles information of the development and the implementation of a control system for the optimization of the positioning of the set square and the automation of the industrial Polar guillotine 145. For this reason is necessary the compilation of information about the machine and the needs of the company where one tries to realize this automation for it they are investigated and he/she analyzes the process of court(cut), the mechanical and electrical structure of the machine, and the profitability. For the design that is implemented there are used algorithms of classic controllers of control as well as respective mechanical adjustments to the machine for a good functioning and the accomplishment of an interface humanizes machine that expires with the needs of the operator for the managing of system.

KEYWORDS:

- **GRAPHIC ARTS**
- **INDUSTRIAL GUILLOTINE**
- **POSITIONING BRACKET**
- **PRINTING**
- **CONTROL SYSTEM**

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las Artes Gráficas es un área que apareció desde la invención de la imprenta en 1450 por Johannes Gutenberg y que sigue en constante cambio con él avance tecnológico, este se ha visto siempre en la necesidad de tener la forma más rápida para realizar cortes precisos e iguales en la materia prima que es el papel para la elaboración de diversos productos como son: los periódicos, libros revistas entre otros.

Para cubrir esta necesidad de realizar cortes se opta por el uso de guillotinas industriales, esta es una máquina utilizada en la Industria Gráfica para cortar, refilar hojas de papel, cartulina o cartón en porciones de altura variable hasta una altura máxima dada por el tipo de guillotina utilizada.

Hoy en día en la industria gráfica de nuestro país las imprentas cuentan con esta maquinaria para realizar cortes pero en la mayoría de estos lugares se cuenta con máquina antigua puramente mecánica y pocas son las imprentas que deciden comprar maquinaria con nueva tecnología ya que representa un costo significativo para la empresa, además que el nivel que se puede procesar en una máquina antigua es muy bajo respecto a una moderna, el tiempo perdido será mayor y este a su vez representa una pérdida de dinero para las empresas.

Para esto se tiene en el mercado productos dedicados a ayudar a modernizar esta maquinaria obsoleta los cuales tienen un costo de la mitad

hasta los dos tercios de adquirir una máquina de las mismas condiciones moderna.

1.2 Justificación e Importancia

Justificación: El área de las artes gráficas en Ecuador tiene una gran importancia ya que es un medio de comunicación y difusión de información, así las imprentas se ven obligadas a satisfacer las necesidades del creciente mercado.

Estudio la necesidad que hay en muchas imprentas en el Ecuador las cuales buscan optimizar el tiempo en sus procesos para este caso es realizar cortes exactos en papel y con una solución más económica y efectiva. Al existir productos comerciales similares encargados de automatizar con un alto costo y con limitaciones en guillotinas industriales para modernizar esta maquinaria, así como las interfaces sean amigables con el operador dando más prestaciones para facilitar su trabajo.

Importancia: En la industria de Artes Gráficas que existe en Ecuador muchas empresas que tienen mucho interés en poder incrementar su productividad y calidad; sin tener la necesidad de invertir grandes cantidades de dinero con el fin de que esto represente ganancias para su empresa.

Esta es una alternativa para poder modernizar la maquinaria manual y dar una nueva vida sin necesidad que las empresas compren maquinaria moderna e inviertan grandes cantidades de dinero para tener mayor velocidad y exactitud de producción. Así el proyecto propone el diseñar e implementar un sistema que ayude a ubicar la escuadra de la guillotina industrial para corte con exactitud en el papel para que el operador no

pierda tiempo valioso en realizar esta actividad manualmente, y la automatización de esta máquina para que sea más segura para el operador que labora diariamente, incluso mejorando la precisión del corte.

1.3 Alcance Del Proyecto

En el presente proyecto se pretende mejorar la productividad de una empresa en el área de artes gráficas realizando el diseño e implementación de un sistema de control para la escuadra de una guillotina industrial de papel y la automatización de la misma para que esta tenga mayor precisión y rapidez en su funcionamiento.

Así se analizará a detalle la planta con la que se trabajará, para conocer más su comportamiento y características, y dar el sustento necesario para emprender todas las etapas del diseño.

Para el control de esta planta, se considera el uso de Técnicas de control Clásico, para la identificación de la misma y la generación de un controlador adecuado. Ya identificada la planta, se procederá a realizar diseño de un sistema de control que cumpla los requisitos de la empresa que son: una exactitud de 0.03 cm en los cortes, una interfaz gráfica, cumpla con las normas de seguridad establecidas dentro del Gremio de Artes Gráficas.

El resultado final del proyecto consistirá en un sistema que controlará la posición con un error de ± 0.02 cm de la deseada en la escuadra para hacer cortes parejos e iguales en el papel de una manera automática además automatizar el resto de la máquina para dar seguridad al operador al utilizarla y poder evitar los accidentes comunes con este tipo de maquinaria.

1.4 Objetivos

1.4.1. GENERAL

Optimizar el proceso de corte de papel con precisión y rapidez mediante la automatización de la guillotina industrial Marca Polar – Modelo 145

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Determinar técnicamente los sensores, actuadores y un controlador industrial adecuados para implementar el sistema de automatización en la guillotina industrial Marca Polar.
- Diseñar una interfaz HMI adecuada para facilitar las tareas de Control Supervisión y Monitoreo de la guillotina industrial Marca Polar en el proceso de corte.
- Analizar la productividad de la guillotina manual versus la automatizada para indicar el costo beneficio

CAPÍTULO 2.

GUILLOTINA INDUSTRIAL

Se conoce que al momento de mencionar la palabra guillotina se viene a la mente a la antigua máquina de madera que se solía usar en la revolución francesa para realizar ejecuciones pero ahora se dará a conocer sobre otro tipo de guillotina la cual es necesaria en los procesos de fabricación en las imprentas.

En el capítulo se presentan los aspectos importantes como son sus funciones, utilidades, tipos que existen, los materiales de corte luego una breve descripción del PLC Micrologix, los sensores empleados y el tipo de sistema de control.

2.1 Definición

La Guillotina en el Área de la Industria Gráfica es considerada como una máquina que se utiliza en funciones de corte de papel tanto en la preparación de éste antes de la impresión como en la encuadernación para acondicionar los formatos ya impresos, también es capaz de realizar cortes en otros materiales como son cartulina y cartón en porciones de altura variable donde el limitante de la cantidad de material a cortar será las prestaciones de la guillotina que se esté utilizando.

2.2 Tipos de Guillotinas

En la evolución que han tenido las guillotinas se las puede clasificar en función a ciertos parámetros que son su estructura general, nivel tecnológico y capacidad de corte así se tiene los siguientes tipos:

2.2.1 Guillotina Cortadora

Esta máquina es usada en la industria gráfica para la operación de corte de bobina. Las cortadoras se emplean sobre todo en prensas de bobina para trocear hojas como se puede ver en la figura 1. La cortadora se encuentra compuesta de los siguientes elementos: bancada portarrollos, grupo de corte y salida.



Figura 1 Cortadora de etiquetas TECNOFLEX C320

Fuente: (grafin, 2012)

La bancada portarrollos es la entrada de la cortadora. Sobre ella se coloca la bobina impresa. La banda de papel pasa del portarrollos al grupo de corte.

El grupo de corte consta de un grupo de cuchillas giratorias que cortan la bobina a lo largo, según el ancho deseado. Después se corta transversalmente con dos cuchillas a modo de tijera.

Por último las hojas cortadas son recibidas por una cinta que las almacena en una pila de almacenamiento. La introducción tiene transporte guiado y entra el libro con el lomo por delante, para centrarlo lateralmente antes del presionado.

Las propiedades varían de unas a otras y esto las hace adecuadas para aplicaciones específicas.

2.2.2 Guillotina Lineal

Máquina utilizada en la industria gráfica para cortar y refilar cantidades de hojas de papel o cartón en porciones de altura variable hasta 180 mm y de una longitud de hasta 2 metros aproximadamente, según su tamaño. Así se puede apreciar una guillotina lineal en la siguiente figura 2.



Figura 2 Guillotina lineal Polar 115

Fuente: (heidelberg)

Está dotada de escuadras para la colocación exacta del papel y a veces, de mandos automáticos con programas para la ejecución de una serie de cortes sucesivos en la misma porción de papel. Las guillotinas lineales pueden ser usadas para refilar los márgenes de los libros cuando no se dispone de guillotinas trilaterales apropiadas.

Existen diferentes tipos de guillotinas lineales, a saber: a palanca, semiautomática, y automáticas con programa.

Guillotina Lineal a palanca

Este tipo de guillotina es la de diseño y fabricación más antigua, normalmente sus dimensiones máximas de corte no superan los 650 mm. Su diferencia con las otras mencionadas, consiste en que se acciona en forma totalmente manual: mediante el uso de una palanca se baja la cuchilla y los movimientos de las escuadras se efectúan de manera manual.

2.2.3 Guillotina lineal semi automática

En este tipo de guillotina se puede observar que su accionamiento deja de ser manual, para pasar a ser eléctrico mediante uso de motores.

El largo de la hoja a cortar en este tipo de guillotina, siempre acorde al tipo de máquina, puede ser de hasta 2000 mm.

La diferencia entre éstas y las automáticas consiste en que cada vez que se requiere cortar una medida diferente se debe mover la escuadra

accionando los comandos del motor de la escuadra, permitiendo esto realizar sólo un corte a una determinada medida.

2.2.4 Guillotina lineal programable automática

Son las más modernas que se pueden encontrar en la Industria Gráfica. Todos sus movimientos son accionados por motores eléctricos y bombas hidráulicas.

La principal diferencia con las otras consiste en que, si se desea cortar formatos diferentes, se puede programar la misma con las medidas necesarias y su escuadra se moverá automáticamente a la medida solicitada como se observa en la figura 3.

Existen diversos tipos de guillotinas automáticas. A continuación se describen las dos más comunes:

Guillotina con display numérico: De las programables, este tipo de guillotina es la de tecnología más antigua, en este tipo de guillotina las medidas de corte programadas se ven en un display numérico.

Guillotina con monitor: Este tipo de guillotina es el más actual, posee un monitor donde pueden verse todos los pasos programados en la máquina, como informaciones, errores, y estado de la electrónica del equipo.

Este tipo de máquinas también llegan al usuario con el agregado de diversos accesorios, los que varían según tipo y marca de la guillotina ver figura 3.



Figura 3 Guillotina Automática POLAR 115

Fuente: (heidelberg)

2.3 Partes de la guillotina

Una guillotina industrial lineal consta principalmente de las siguientes partes como se parecía en la figura 4:

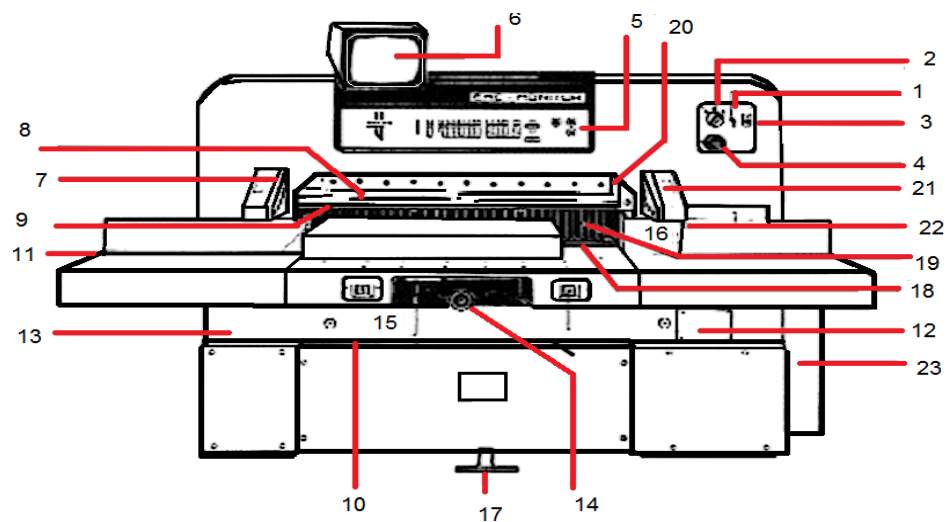


Figura 4 Partes de la Guillotina lineal

Fuente: (Solares, 2005, pág. 26)

1. Cierre de seguridad.
2. Interruptor general.
3. Combinación de teclas MARCHA/PARO.
4. Botón giratorio para el ajuste de la presión y cambio de cuchilla.
5. Pupitre de mando.
6. Monitor.
7. Barra porta-cuchillas.
8. Cuchilla.
9. Pisón.
10. Chapa de protección /resguardo de la chapa de protección.
11. Tope corto izquierdo.
12. Teclas de corte.
13. Tecla de aire
14. Rueda de mano/Ajuste de precisión de medida.
15. Tapa para interruptor de protección del motor.
17. Pedal.
18. Regla de corte.
19. Escuadra con rastrillo.
20. Interruptor para el indicador de corte óptico/ iluminación de la mesa.
21. Barrera de luz.

22. Tapa perforada manual.

23. Protección del acoplamiento.

2.3.1 Funcionamiento

El objetivo de la guillotina es realizar cortes en el papel así pues su funcionamiento comprende de ciertos aspectos como son el hidráulico, neumático y electromecánico. Para esto se debe conocer el procedimiento que debe realizar el operador al hacer cortes en el papel que es el siguiente:

Procedimiento de Corte:

El operador coloca el material a cortar en la mesa la apila contra la escuadra. Ahora aplasta el pedal para que baje el pisón para que sujete el material.

Luego aplastara con las dos manos los pulsadores que se encuentran estratégicamente colocados para que el operador no meta las manos al momento de bajar la cuchilla y ocasione accidentes

Así conociendo como es el procedimiento de corte en la guillotina se puede explicar de una mejor manera su funcionamiento.

Cuando el operador enciende la máquina esta enciende un motor que puede ser monofásico, bifásico o trifásico depende de la guillotina, para el caso es una bomba hidráulica en donde el aceite circula por medio del sistema hasta el tanque como se observa en la figura 5.

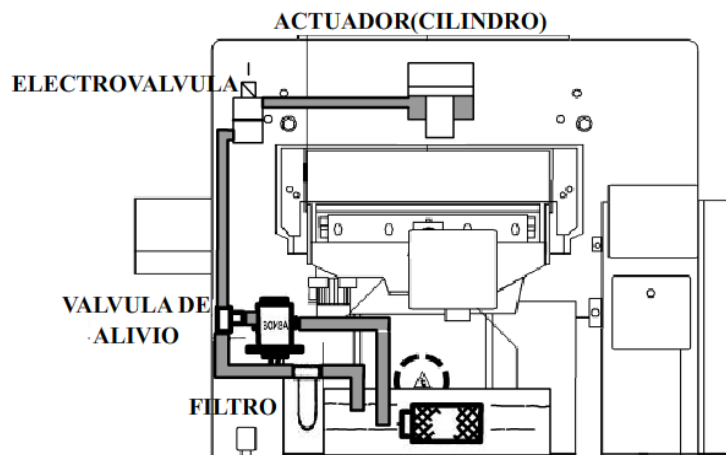


Figura 5 Sistema hidráulico

Ahora cuando el operador pisa la palanca del mecanismo del pisón, esta accionará a una electroválvula que controla al a un cilindro para la guillotina Polar 145 es un cilindro con retorno con resorte en el pistón que provocara que baje el pisón cuya función es sostener el papel al momento de corte como se puede apreciar en la siguiente figura6.

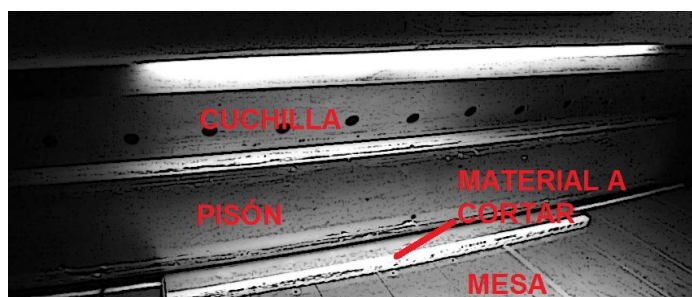


Figura 6 Pisón ajustando material a cortar

Después el operador para accionar el sistema electromecánico que hace bajar la cuchilla acciona por medio de dos pulsadores estratégicamente colocados, los cuales obligan al operador el usar las dos manos simultáneamente para accionar, la ubicación de estos pulsadores se puede observar el la figura 7. Accionado el sistema electromecánico quita el embrague del motor y transforma el movimiento giratorio en uno de

vaivén para que baje la cuchilla de la guillotina y corte el material como se observa en la figura 8.

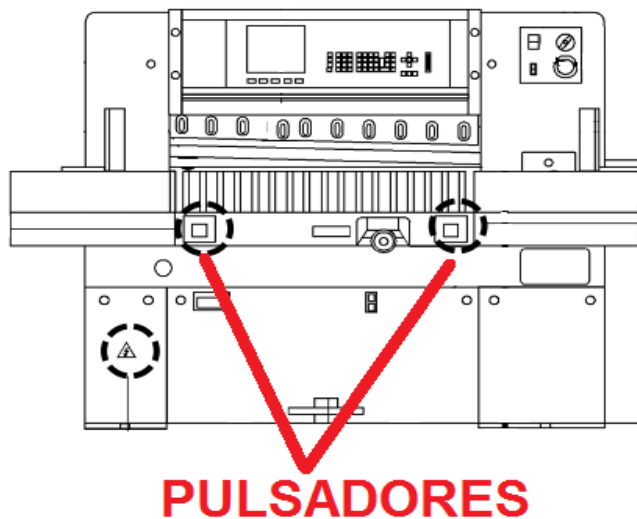


Figura 7 Pulsadores De Activación

Fuente: (Solares, 2005, pág. 26)



Figura 8 Cuchilla Bajada Y Corte De Material

2.4 Materiales de Corte

El tener un buen conocimiento sobre el manejo de los distintos materiales que se puede cortar, la toma de las medidas sobre estos, la interpretación de la orden de trabajo, el tener la capacidad de determinar la mejor secuencia de corte, hacen que el operador con la guillotina lineal pueda tener un mejor desenvolvimiento y desempeño en el ámbito laboral, siendo así la reducción de tiempo en el proceso y el ahorro final para la empresa sin contar que podrá procesar más material que antes.

Entre los materiales o piezas que se pueden procesar dentro de la guillotina industrial línea son:

- Diferentes tipos de papeles sin impresión
- Diferentes tipos de cartulinas sin impresión
- Papel kraft
- Etiquetas
- Rótulos
- Envases flexibles
- Tapas de revistas
- Coberturas de papel para encuadernación cartoné
- Cobertura de cuerina para encuadernación de lujo o fina
- Cobertura de tela para encuadernación de lujo o fina
- Cobertura plástica para encuadernación de lujo o fina
- Papel impreso o no para guardas de libros
- Pliegos para libros
- Cartones de diferentes espesores
- Papelería comercial
- Talonarios
- Publicidades impresas

- Tarjetas de presentación
- Refilado de libros
- Planchas metálicas
- Refilado de revistas

2.5 Descripción del PLC Micrologix 1100

El MicroLogix 1100 pertenece a la familia de MicroLogix 1000; cuenta con edición en línea y un puerto EtherNet/IP de 10/100 Mbps incorporado para mensajes entre dispositivos similares, el controlador MicroLogix 1100 añade mayor conectividad y cobertura de aplicaciones a la familia MicroLogix. “La pantalla de cristal líquido incorporada en los controladores de próxima generación muestra el estado del controlador, el estado de las E/S y mensajes de operador simples; permite la manipulación de bits y números enteros, y ofrece la funcionalidad de potenciómetro de ajuste digital”. (Rockwellautomation, 2010, pág. 6)

Características y ventajas

Dentro de las prestaciones que ofrece este PLC y que se consideraron para su uso en el presente proyecto, se destacan:

Puerto EtherNet/IP de 10/100 Mbps incorporado para transmisión de mensajes entre dispositivos similares – ofrece a los usuarios conectividad de alta velocidad entre controladores, con la capacidad de acceder, monitorear y programar desde cualquier lugar donde haya una conexión Ethernet.

Funcionalidad de edición en línea – es posible hacer modificaciones a un programa mientras está en ejecución, lo cual permite realizar el ajuste fino de un sistema de control en funcionamiento, inclusive en lazos PID. Esta función no sólo reduce el tiempo de desarrollo sino que facilita la resolución de problemas.

Servidor de web incorporado – permite al usuario configurar datos de manera personalizada desde el controlador y verlos como página web.

Puerto combinado RS-232/RS-485 – proporciona una variedad de protocolos diferentes de red y punto a punto.

Pantalla de cristal líquido incorporada – permite al usuario monitorear los datos dentro del controlador, modificar opcionalmente dichos datos e interactuar con el programa de control. Muestra el estado de las E/S digitales incorporadas y las funciones del controlador, y actúa como pareja de potenciómetros de ajuste digital para permitir que un usuario realice cambios y ajustes en un programa.

Se puede apreciar físicamente en la siguiente figura 9 y para sus características internas se lo aprecia en la tabla 1.

Tabla 1

Características específicas Micrologix 1100

Boletín	1763
Tipo	MicroLogix 1100
Memoria	
Programa de usuario/ espacio de datos	4K / 4K configurable
Registro de datos / almacenamiento	Registro de datos: hasta 128 kB x Receta: hasta 64 kB

CONTINÚA 

de recetas	
Batería de respaldo	SI
Módulo de memoria de respaldo	SI
E/S discretas	
Incorporadas	16
Máximo con expansión local	Hasta 80
Analógica	2 incorporadas, hasta 16 de expansión
Potenciómetros de ajuste	2 digitales
PID	SI
Contador de alta velocidad (entradas de 24 VCC)	1 a 40 kHz
Herramienta de acceso a datos	Pantalla de cristal líquido
Matemática de punto flotante (coma flotante)	SI
Software de programación	
RSLogix 500 y RSLogix Micro	SI
Comunicaciones	

CONTINÚA 

Edición en línea	SI
Puertos RS-232	(1) – Mini DIN de 8 pines (combinación con puerto RS-485)
Ethernet	Incorporadas y con 1761-NET-ENI
ASCII	SI
Alimentación de funcionamiento	
120/240 VCA / 24 VCC	SI

Fuente: (Rockwellautomation, 2010, pág. 2)



Figura 9 PLC Micrologix 1100

Fuente: (Rockwellautomation, 2010, pág. 4)

2.6 Interfaz HMI

Para realizar una buena interfaz humano máquina se puede usar las sugerencias existentes en la guía GEDIS (guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión) la cual está enfocada a ambientes industriales donde especifica las características principales de los elementos de la interfaz tales como la arquitectura, la navegación los estándares de colores, fuentes, simbología, entre otros. Así sugiere:

2.6.1 Arquitectura

Se establece un mapa en el cual se definirán de manera general las diferentes que habrá pantallas con las que podrá usar el operador para interactuar con el sistema de automatización y control. Este mapa deberá establecer las relaciones lógicas entre las pantallas de manera que pueda también servir para el diseño de la navegación del sistema, en la siguiente figura10 se observa un ejemplo de clasificar las pantallas en áreas y niveles.

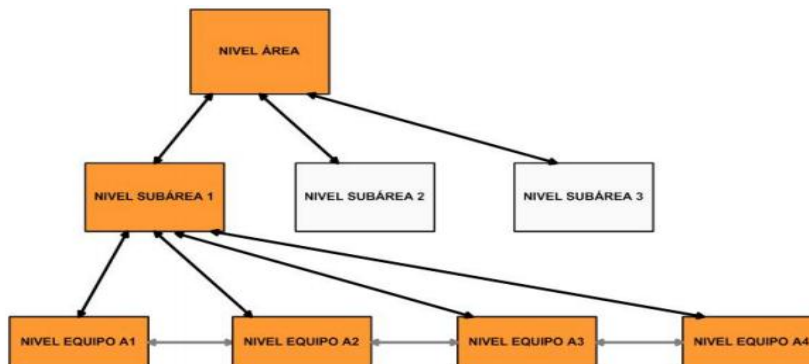


Figura 10 Ejemplo de arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2002, pág. 16)

Pantallas de Proceso, son aquellas que muestran el estado de los equipos y del proceso mismo. Estas se pueden clasificar en general de planta, general de área, de detalle y de equipo.

Pantallas de Configuración, son aquellas que permiten al operador y al ingeniero de proceso establecer aquellos parámetros de configuración del sistema tales como límites de alarmas, sintonización de PID's, etc.

2.6.2 Distribución de las Pantallas

Aquí se tiene una clara idea de cómo será la tipología de las pantallas, la cantidad de pantallas y una buena plantilla para obtener una homogeneidad entre ellas.

Para las plantillas es preciso definir la ubicación siguiente:

- Ubicación de las alarmas del proceso
- Ubicación de las alarmas del proceso
- Ubicación de título de la pantalla
- Ubicación de hora
- Ubicación de fecha
- Ubicación de logotipo de la empresa
- Ubicación del mímico del área o sub área
- Ubicación de tendencias y tablas

Para realizar correctamente estas especificaciones de la distribución de pantallas se sugiere estas directrices:

- Considerar que según el Diagrama de Gutenberg, el Movimiento del ojo va de arriba a abajo y de izquierda a derecha
- Considerar que la información más importante va arriba

- El centro de la pantalla es un lugar de alta visibilidad
- La información crítica debe tener un lugar fijo en la pantalla
- Para el mismo nivel de información efectiva, se debe dar preferencia a las distribuciones simples sobre las complejas

Así se puede apreciar en la figura 11 un ejemplo de plantilla general para las ventanas que utilizara el operado.

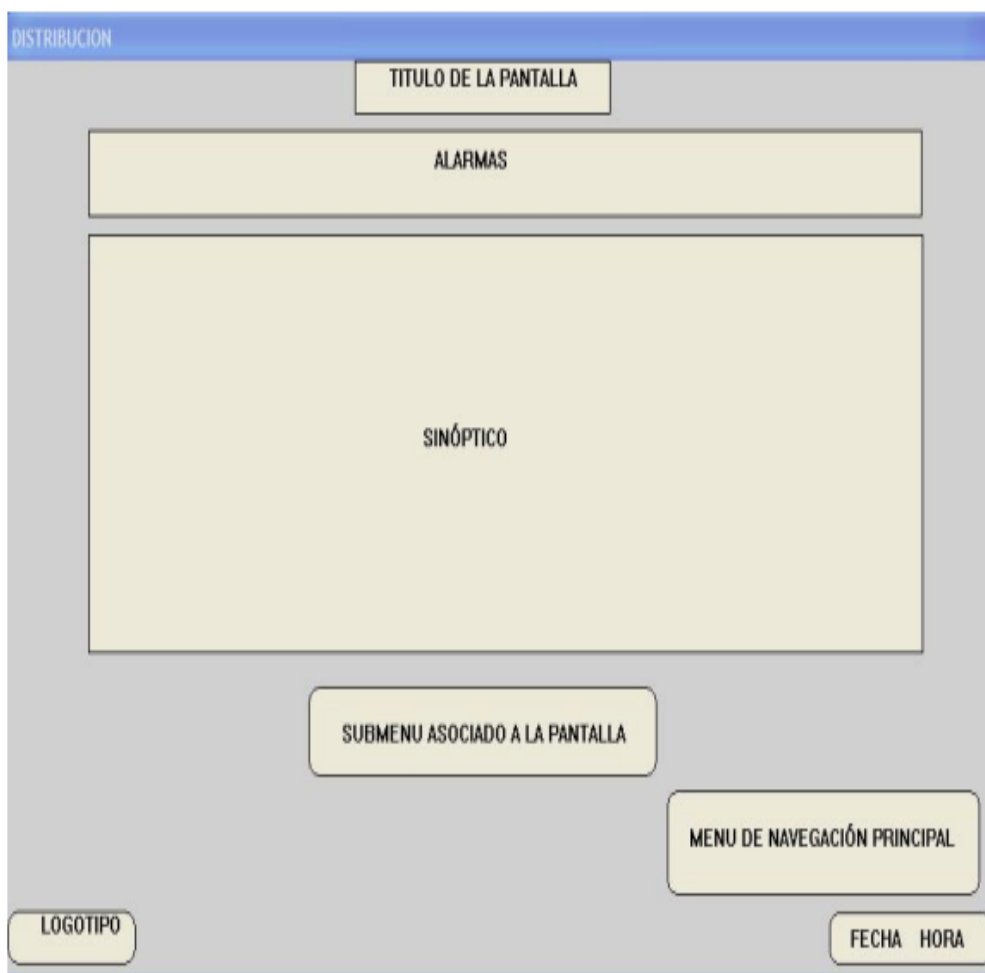


Figura 11 Ejemplo de un aplantilla para un sinóptico de proceso

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2002, pág. 6)

2.6.3 Navegación

Ya definida la arquitectura se puede determinar cómo podrá navegará el operador en el sistema. Este debe ser fácil de usar, para esto se puede combinar entre las siguientes sugerencias:

- Menús y submenús
- Barra de Botones
- Barras de Iconos gráficos
- Teclas de Función
- Cajas Combo o Listas Desplegables

Las siguientes directrices ayudan cuando se establece la forma de navegación:

- Una navegación horizontal de esta manera el operador pueda cambiar más fácilmente de área.
- La navegación no debe ser un obstáculo cuando el operador deba reaccionar en situaciones de emergencia.
- Si se usa una pantalla táctil se deben tomar en cuenta la antropométrica de los dedos índices de los operadores.
- “Es recomendable proporcionar al operador la posibilidad de desplazarse a la pantalla anterior o la siguiente dentro del mapa de navegación así como la de regresar al inicio del sistema y la de cierre de pantalla en los casos en que sea aplicable” (Ponsa & Granollers, 2002, pág. 7)
- El texto que describe las funciones debe ser corto y conciso

2.6.4 Uso del Color

El color es un elemento muy importante dentro del tema de las interfaces humano máquina, hay que procurar tener un uso que sea conservador, convencional y consistente; esto es crítico para la realización de una buena interfaz.

Hay que definir los siguientes estándares referidos al color:

- Color para representar el estatus de los equipos de la planta (marcha, paro, falla, manual, etc.)
- Color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas, productos terminados, etc.)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.)
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.)
- Color de valores de proceso (Temperaturas, presiones, niveles, etc.)

Algunas directrices que se puede tomar en consideración para la especificación de los colores son las siguientes:

- Limitar el número de colores a cuatro y siete colores, y que estos sean diferenciables entre sí, maximizando su contraste.
- No usar combinaciones con contrastes incompatibles como son Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.
- Evitar el uso de intermitencia (blink) de colores salvo en casos especiales y aislados

2.6.5 Hardware

Como hardware se tiene un panel view Allan Bradley modelo C600 como se ve en la figura 12 que tiene como característica para el operador que es táctil y a colores, esta será el medio por el cual el operador puede interactuar con el sistema.




Figura 12 Panel view Modelo C 600

Fuente: (Rockwell Automation, Inc, 2014, pág. 16)

Características específicas del panel se las aprecia en la tabla 2 en donde se aprecia parámetros tan importantes como son el tipo de comunicación, alimentación eléctrica al dispositivo entre otros.

Tabla 2

Características de Panel View C 600

Tipo	PanelView C600
	
Número de catálogo	2711C-T6T
PANTALLA	
Tamaño (mm)	5.7 pulg. (115 x 86)
Resolución (pixels)	320 x 240
Tipo	Transmisiva a color TFT
Entrada del operador	Táctil analógica
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	
Puerto de comunicación	RS232 (Conector D de 9 pines), RS422/RS485 (conector), Ethernet
Puerto de programación	Puerto de dispositivo USB, Ethernet
Reloj en tiempo real	Con batería de respaldo
Requisitos de alimentación eléctrica	18...30 VCC, C400 3.5 W, C600 10 W, C1000 18 W
CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura de funcionamiento	0...50 °C
Envolvente	NEMA/UL Tipo 4X (interiores) 12, 13 e IEC IP54, IP65
Homologacion	En lista cULus; marca CE; C-Tick

CONTINÚA 

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Mecanismo de montaje	Abrazaderas integradas y clips de palanca rápidos
Peso	0.7 kg
Dimensiones generales (alto x ancho x profundidad, mm)	154 x 209 x 57

Fuente: (Rockwell Automation, Inc, 2014)

2.6.6 Software

Para manejar este panel view es necesario de ciertos requisitos como es en software, se los puede programar de dos maneras usando Connected Components Workbench para desarrollo de la interfaz.

Connected Components Workbench sirve para desarrollar diseño y software de configuración, ofrece programación del controlador, la configuración del dispositivo y la integración con el editor HMI. Esta desarrollado sobre la base de la tecnología de Visual Studio Rockwell Automation y Microsoft. El software cumple con el estándar de programación de PLC IEC 61131-3.

Requisitos de hardware

Para usar el software Connected Components Workbench en una computadora personal este debe cumplir los siguientes requisitos de hardware en la tabla 3:

Tabla 3

Requisitos de hardware para Connected Components Workbench

	Requisitos mínimos	Recomendado
Procesador	Intel Pentium 4 2.8 GHz	Intel Core i5 2.4 GHz
Memoria RAM	2 GB	8 GB o más
Espacio de disco duro	10 GB libres	10 GB libres o más
Variador óptico		DVD-ROM
Dispositivo de señalamiento	Cualquier dispositivo de señalamiento compatible con Microsoft Windows	

Fuente: (Rockwell Automation, Inc, 2014, pág. 2)**Requisitos de software**

Connected Components Workbench es compatible con los siguientes sistemas operativos y service packs de la tabla 4:

Tabla 4

Requisitos de Software Connected

Components Workbench

Sistemas operativos compatibles	Ediciones probadas
Windows 7 32 y 64 bits	Windows 7 32 y 64 bits
Windows Server 2008 R2 32 y 64 bits	Windows Server 2008 R2 32 y 64 bits
Windows 8 y 8.1 32 y 64 bits	Windows 8 y 8.1 32 y 64 bits

Fuente: (Rockwell Automation, Inc, 2014, pág. 2)

2.7 Sensores

Los sensores empleados en el sistema de automatización son inductivos y encoder incremental cada uno con una función específica.

El sensor encoder incremental tiene la función de indicar la posición en donde se encuentra la escuadra sobre la cama en la cual se desplaza tiene la ventaja que entre sus capacidades puede indicar también la dirección hacia adelante y atrás.

Los sensores inductivos tienen la función de finales de carrera para poder identificar la presencia y ausencia de ciertas piezas en movimiento su ventaja es que al ser un ambiente donde existe mucho polvo son robustos además que pueden detectar metales a pesar de como sea su forma y textura de la superficie.

2.8 Sensor Inductivo de Proximidad

Este es un tipo de sensor de proximidad el cual tiene como objeto el detectar objetos metálicos cuando estén dentro de su rango de detección. Se los suele aplicar en la industria con el objetivo que sirvan de como límites de carrera e interruptores, que detectan objetos por contacto físico.

Estos sensores de proximidad tienen la capacidad de convertir la información que tienen sobre el movimiento o bien de la presencia de un objeto en una señal eléctrica.

Los sensores inductivos pueden detectar metales ya sean ferrosos o no ferrosos, utilizando la inducción magnética para poder generar y detectar las corrientes de pérdidas o llamadas de Foucault.

Funcionamiento

Sucede cuando un objeto metálico entra al campo, donde las corrientes de Foucault circulan dentro de la placa y generan a la vez un campo magnético opuesto al generado por el oscilador.

La disminución del campo magnético tiene como respuesta el reducir la inductancia que hay en la bobina el cual cambia levemente la frecuencia de las oscilaciones.

Cuando se está en la ausencia de objetos metálicos la señal de salida es igual en amplitud a la señal de entrada.

En presencia de objetos metálicos se disminuye la inductancia de la bobina y aumenta la frecuencia de oscilaciones de esta manera la amplitud de la señal del oscilador se decrementa en presencia de objetos metálicos y se incrementa en ausencia de estos como se puede observar en la figura 13.

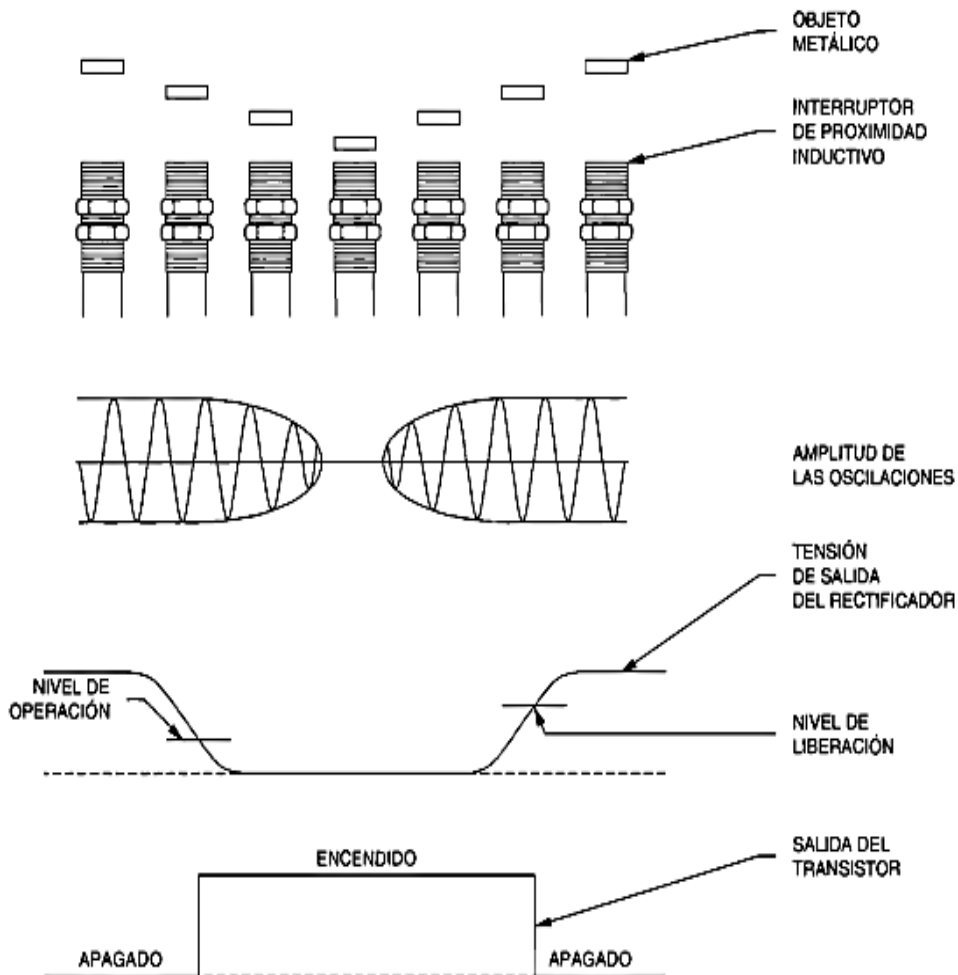


Figura 13 Sensor inductivo con y sin presencia de metal

Fuente: (Lab-Volt (Quebec) Ltda, 2001, pág. 78)

Los modelos de sensores de corriente directa que hay en el mercado pueden ser de dos a cuatro hilos los cuales requieren una fuente de poder separada. Algunos modelos suelen usar como forma de conmutación transistores NPN y otros transistores PNP como se puede apreciar en la siguiente figura 14.

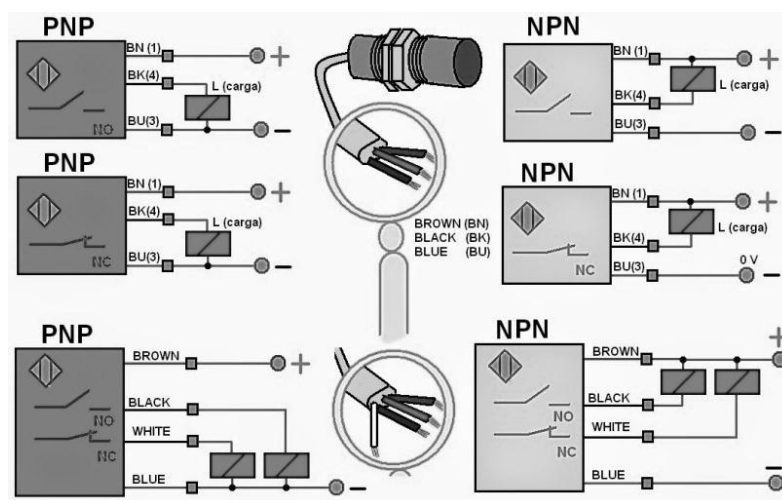


Figura 14 Conexión de sensores inductivos DC

Fuente: (Lab-Volt (Quebec) Ltda, 2001)

2.8.1 Sensor de Posición

Los encoders son sensores los cuales generan señales digitales en respuesta al movimiento. El movimiento que pueden detectar puede ser en rotación o lineal. También se los puede usar para la medición de movimiento lineal velocidad y posición.

Los encoders pueden tener dos tipos de salidas, los unos son los encoders incrementales, son aquellos que generan pulsos mientras se mueven, se los usa para medir velocidad o trayectoria de la posición. El otro tipo de encoder que hay son encoders absolutos estos tienen la capacidad de generar multi-bits digitales, que indican directamente la posición actual.

El encoder óptico utiliza un disco de vidrio con un patrón de líneas que están implícitas en él, este disco puede ser metálico, plástico con ranuras, o una tira de vidrio o metal cuando son encoders lineales como se parecía en

la figura 15. Una luz de led brilla a través del disco o tira sobre uno o más foto detectores.



Figura 15 Discos de encoder incremental, absoluto y lineal

Fuente: (West Instruments Mexico.S.A., 2000, pág. 4)

Para poder determinar la dirección de giro, los encoders tienen dos pares de Leds infrarrojos y que están desfasados 90° . De esta forma cuando gira el disco, el patrón de segmentos opacos se convierte en dos señales de salida de pulsos, llamados canal A y canal B, la diferencia entre la señal de salida A y la señal de salida B determinan la dirección de rotación del encoder ver figura16.

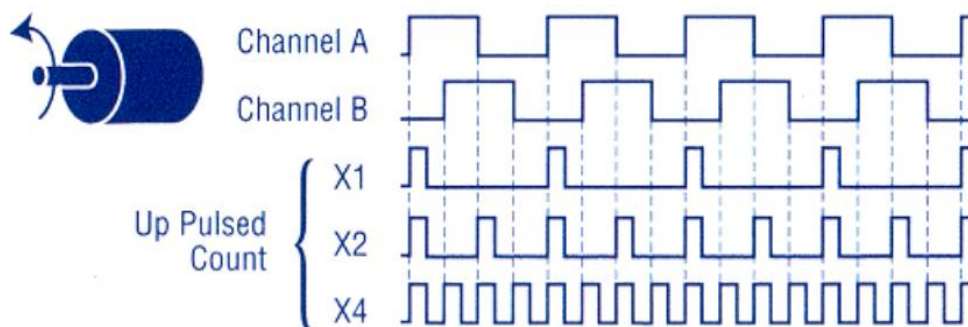


Figura 16 Señales del canal A y canal B

Fuente: (West Instruments Mexico.S.A., 2000, pág. 10)

2.9 Sistemas de Control

El tener procesos industriales en los cuales es necesario el producir con mayor calidad productos, esto a obligado el buscar maneras de controlar dichos procesos para cumplir con estos objetivos, así pues se usa controladores que pueden ser clásicos, modernos o inteligentes. Todos estos sistemas siempre en realimentación bajo el concepto más simple que es “incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande” (Mauricio, 2001, pág. 2). Así a continuación algunos controladores clásicos.

2.9.1 Control Proporcional

El controlador Proporcional es realmente un amplificador con una ganancia ajustable. En este control se reduce el tiempo de subida, incrementa el sobretiro y se reduce el error en estado estable.

La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = k_p e(t)$$

Donde k_p es la ganancia proporcional.

2.9.2 Control Proporcional Integral

El control Proporcional Integral se caracteriza por decrementar el tiempo de subida, incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización, también

puede eliminar el error en estado estable pero teniendo como consecuencia el emporar la respuesta transigente. Esta acción se define mediante:

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

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

El tiempo integral es el encargado de ajustar la acción del control, mientras que un cambio en el valor de K_p puede estar afectando a las partes integral y proporcional. El inverso del tiempo integral T_i es conocido como velocidad de reajuste. La velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se puede duplicar la parte proporcional de la acción de control.

2.9.3 Control Proporcional, Integral y Derivativo

El control Proporcional, Integral y Derivativo es un controlador que esta realimentado cuyo propósito es hacer que el error que está en estado estacionario, entre la señal de salida y la de entrada, lo que se puede lograr mediante la acción integral. Además de esto tiene la capacidad el controlador de anticipar al futuro a través de su componente derivativo que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

“Tienen un gran uso en la industrial es tal que el “95 % de lazos de control existentes en aplicaciones industriales son del tipo PID” (Mauricio, 2001, pág. 2)

Este controlador tiene combinada las ventajas de cada una de las tres acciones individuales que se resume las características en la tabla 5.

Tabla 5

Resumen de Características de Acciones de control

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

Fuente: (Núñez Enríquez, 2007)

2.9.4 Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID

En la figura 17 se muestra un control PID de una planta. Si se pudiera obtener un modelo matemático de esta planta, se aplicara diversas técnicas de diseño con el objetivo de obtener los diversos parámetros del controlador para que cumpla las especificaciones del transitorio y del estado estacionario en lazo cerrado.

Pero si se tiene inconvenientes en obtener este modelo porque la planta es muy compleja o no es tan fácil de obtener, se puede usar a procedimientos experimentales.

Ziegler y Nichols establecen ciertas reglas para sintonizar estos controladores PID, las cuales están basadas en las respuestas experimentales a una entrada escalón o en el valor de la constante proporcional la cual produce una estabilidad marginal cuando solo se usa la acción de control proporcional.

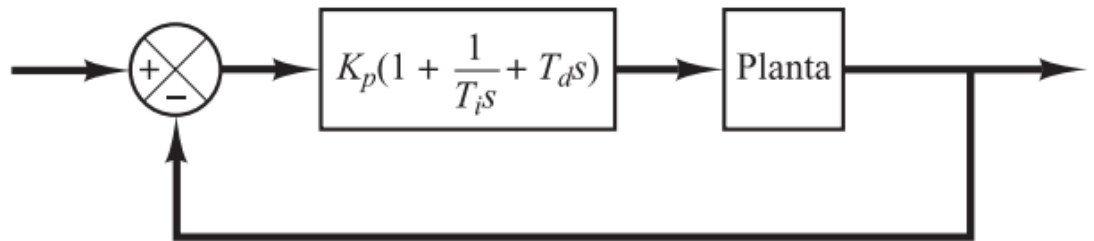


Figura 17 Control PID de una planta

Fuente: (C. Kuo, 1996, pág. 84)

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo basándose en la respuesta transitoria en una planta. Existen dos métodos conocidos como reglas de sintonía de Ziegler-Nichols que a continuación se explican:

Primer Método

En este método la respuesta de la planta se obtiene de manera experimental tal como en la figura 18. Si la planta no tiene en su composición elementos integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la respuesta suele tener forma de una S como se puede apreciar en la figura 19.

Esta curva con forma de S se suele caracterizar por tener dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T , las cuales se obtienen dibujando una tangente en el punto de inflexión de la curva y determinando las intersecciones de la tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t) = K$ como se ve en la figura 19.

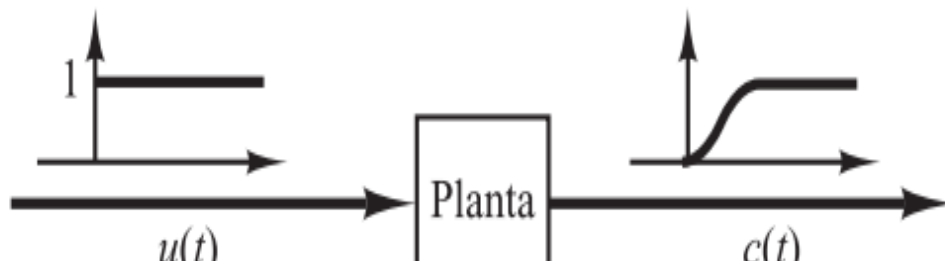


Figura 18 Respuesta a un escalón unitario de una planta

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 568)

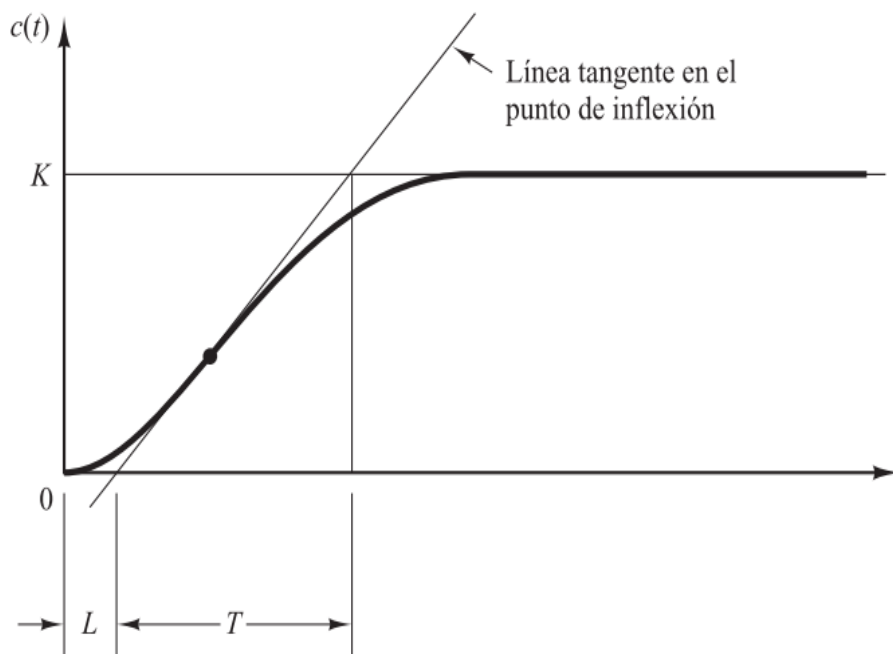


Figura 19 Curva de respuesta en forma S

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 569)

Ziegler y Nichols establecieron los valores de los parámetros a través de la tabla 6 de acuerdo con aquellas formulas.

Tabla 6

Regla de Sintonía de Zigler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	infinito	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0,5L

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 570)

Segundo método

En este método se pone $T_i = \infty$ y $T_d = 0$, solo se usa la acción de control proporcional como en la figura 20, si se va incrementando desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. Este método no se puede aplicar si la salida no presenta oscilaciones.

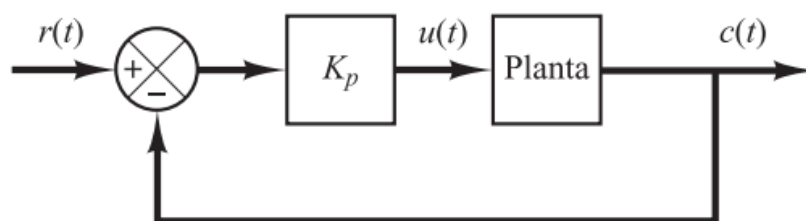


Figura 20 Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 570)

Así la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} se determinan experimentalmente como se ve en la figura 21 y establecido estos valores con ayuda de la tabla 7 se determina el modelo.

Tabla**7**

Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica y periodo crítico

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	infinito	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 571)

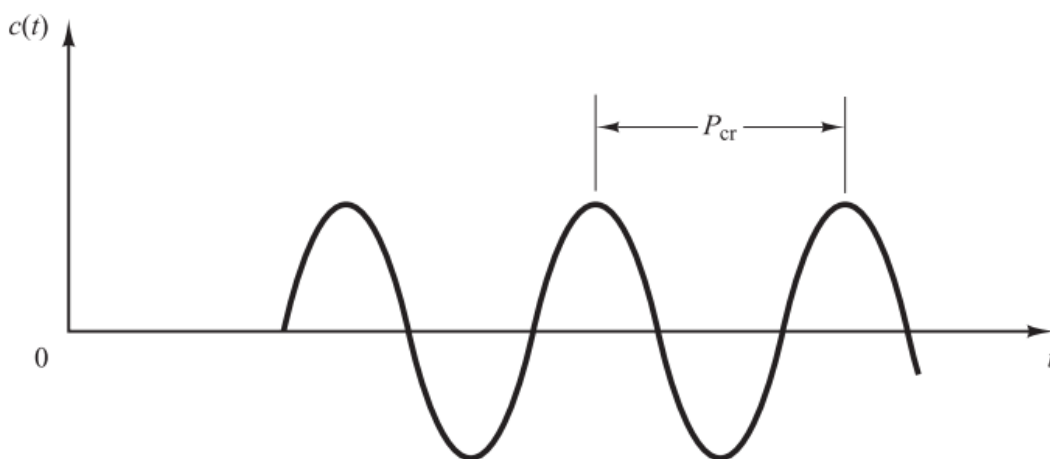


Figura 21 Oscilación sostenida con periodo

Fuente: (Ogata, 2010, pág. 571)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Estado Actual de Guillotina

La guillotina polar 145 originalmente cuando salió al mercado en la década de 1980 estaba compuesta de un mecanismo de desplazamiento para la escuadra sobre la cama, que venía con un embrague y freno electromecánico el cual ayudaba a detenerse en la posición deseada a la escuadra.

Pero al transcurso de los años se ha ido deteriorando y eliminando muchas cosas de cómo era originalmente de fábrica.

Hasta que en la actualidad se encuentra en el siguiente estado, ya no consta de muchas partes originales, la cama de aire se encuentra inhabilitada, las celdas de protección para el operador están reparadas y adaptadas, el control del motor y bomba hidráulica esta hecho por contactores, con lo que respecta al sistema mecánico de la escuadra ya no consta del freno electromecánico y a pesar de esto aún continua desplazándose la escuadra sobre la cama pero manualmente desde una manivela.

Así se ha venido utilizando para realizar los cortes lo que genera molestia porque se pierde tiempo en ubicar la escuadra y falta la

precisión en los cortes.

3.1.1 Requerimientos del Sistema

A partir del uso de la herramienta de investigación conocida como entrevista estructurada realizada al operador de la máquina y al gerente financiero, se puede obtener información valiosa sobre la máquina, su función en el proceso y su vida útil en la empresa.

Con esta información se puede determinar parámetros de funcionamiento que son requeridos de parte de la empresa que son los siguientes:

Tabla 8

Requisitos de la Empresa

Parámetros	Indicadores	Valores finales	Descripción
Calidad	Calidad	excelente	Medida dentro de +- 0.01mm del valor deseado
Precisión	mm	0.01 mm	
Exactitud	porcentaje	99 %	
Costo	dólares	3000 dólares	Costo menor a los productos dedicados en el mercado y a una máquina nueva
Tiempo	Cortes por segundos	1 corte por 50 segundo	Menor tiempo en el proceso que 600 segundos

3.1.2 Determinación de Materiales

Por medio de método ordinal corregido de criterios ponderados para determinar los mejores elementos para la construcción del sistema de automatización se tiene lo siguiente:

- a) Bajo peso, ya que la máquina debe ser transportable y debe de poder ser manejada por 1 o 2 personas, a veces en espacios muy reducidos
- b) Alta fiabilidad, ya que su funcionamiento se enmarca en la competición donde cualquier fallo constituye un contratiempo muy serio
- c) Precisión y Exactitud en movimiento para la posición, cuanta precisión y exactitud hay al desplazarse la escuadra sobre la cama del a guillotina para llegar al lugar deseado
- d) Precio, el costo de los materiales para realizar el sistema de automatización

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

precisión y exactitud > *alta fiabilidad* > peso = precio

Tabla 9

Evaluación del peso específico de cada criterio

	peso	alta fiabilidad	precisión y exactitud	precio	$\sum+1$	pondera.
Peso		1	1	1	4	0,4
alta fiabilidad	0		1	1	3	0,3
precisión y exactitud	0	0		0,5	1,5	0,15
Precio	0	0	0,5		1,5	0,15
				Suma	10	1

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio peso

Solución C > Solución A = Solución B

Tabla 10

Evaluación del peso específico del criterio peso

		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Sensores						
Presencia						
Solución A	Inductivo Allan bradley		0,5	0	1,5	0,25
Solución B	Inductivo Chino		0,5	0	1,5	0,25
Solución C	Mecánico	1	1		3	0,5
Suma					6	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Posición						
Solución A	Encoder Incremental BEI Sensores		0,5	0	1,5	0,25
Solución B	Encoder Absolute BEI Sensores		0,5	0	1,5	0,25
Solución C	Encoder Incremental CALT	1	1		3	0,5
Suma					6	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Controlador						
PLC						
Solución A	Allan Bradley		0,5	0	1,5	0,25
Solución B	Siemens		0,5	0	1,5	0,25

CONTINÚA



Solución C	Delta	1	1		3	0,5
Suma					6	1
Panel View						
Solución A	Allan Bradley			0,5	0	1,5 0,25
Solución B	Siemens		0,5		0	1,5 0,25
Solución C	Delta	1	1		3	0,5
Suma					6	1
Actuador						
Motor						
Solución A	Baldor			0,5	0	1,5 0,25
Solución B	ABB		0,5		0	1,5 0,25
Solución C	Marathon	1	1		3	0,5
Suma					6	1
Drive						
Solución A	Allan Bradley			0,5	0	1,5 0,25
Solución B	ABB		0,5		0	1,5 0,25
Solución C	LS	1	1		3	0,5
Suma					6	1

3. Evaluación del peso específico del criterio alta fiabilidad

Solución A > Solución B > Solución C

Tabla

Evaluación del peso específico del criterio alta fiabilidad

	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	pondera.
Sensores					
Presencia					
Solución	Inductivo	1	1	2	0,5

CONTINÚA 

A	Allan bradley					
Solución B	Inductivo Chino	0		0	1	0,25
Solución C	Mecánico	0	0		1	0,25
				Suma	4	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
	Posición					
Solución A	Encoder Incremental BEI Sensores		1	1	2	0,5
Solución B	Encoder Absolute BEI Sensores	0		0	1	0,25
Solución C	Encoder Incremental CALT	0	0		1	0,25
				Suma	4	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
	Controlador					
	PLC					
Solución A	Allan Bradley		1	1	2	0,5
Solución B	Siemens	0		0	1	0,25
Solución C	Delta	0	0		1	0,25
				Suma	4	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
	Panel View					
Solución A	Allan Bradley		1	1	2	0,5
Solución B	Siemens	0		0	1	0,25
Solución C	Delta	0	0		1	0,25
				Suma	4	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
	Actuador					
	Motor					
Solución	Baldor		1	1	2	0,5

CONTINÚA 

A						
Solución	ABB	0		0	1	0,25
B						
Solución	Marathon	0	0		1	0,25
C						
				Suma	4	1
Drive						
A						
Solución	LS		1	1	2	0,5
B						
Solución	ABB	0		0	1	0,25
C						
Solución	Allan bradley	0	0		1	0,25
				Suma	4	1

4. Evaluación del peso específico del criterio precisión y exactitud

Solución A=Solución B > Solución C

Tabla

Evaluación del peso específico del criterio precisión y exactitud

12

		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Sensores						
Presencia						
Solución A	Inductivo Allan bradley		0,5	0	1,5	0,375
Solución B	Inductivo Chino	0,5		0	1,5	0,375
Solución C	Mecánico	0	0		1	0,25
				Suma	4	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Posición						
Solución A	Encoder Incremental BEI Sensores		0,5	0	1,5	0,375
Solución B	Encoder Absolute	0,5		0	1,5	0,375

CONTINÚA 

BEI						
Sensores						
Solución		Solución	Solución	Solución	$\Sigma+1$	pondera.
C		A	B	C		
	Encoder	0	0		1	0,25
	Incremental					
	CALT					
Suma					4	1
Controlador						
PLC						
Solución		Solución	Solución	Solución	$\Sigma+1$	pondera.
A		A	B	C		
	Allan Bradley		0,5	0	1,5	0,375
	Siemens	0,5		0	1,5	0,375
	Delta	0	0		1	0,25
Suma					4	1
Panel View						
Solución		Solución	Solución	Solución	$\Sigma+1$	pondera.
A		A	B	C		
	Allan Bradley		0,5	0	1,5	0,375
	Siemens	0,5		0	1,5	0,375
	Delta	0	0		1	0,25
Suma					4	1
Actuador						
Motor						
Solución		Solución	Solución	Solución	$\Sigma+1$	pondera.
A		A	B	C		
	Baldor		0,5	0	1,5	0,375
	ABB	0,5		0	1,5	0,375
	Marathon	0	0		1	0,25
Suma					4	1
Drive						
Solución		Solución	Solución	Solución	$\Sigma+1$	pondera.
A		A	B	C		
	LS		0,5	0	1,5	0,375
	ABB	0,5		0	1,5	0,375
	Allan bradley	0	0		1	0,25
Suma					4	1

5. Evaluación del peso específico del criterio precio

Solución A > Solución B >= Solución C

Tabla

13

Evaluación del peso específico del criterio precio

		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Sensores						
Presencia						
Solución A	Inductivo Allan bradley		1	1	2,5	0,45454545
Solución B	Inductivo Chino	0		0,5	1,5	0,27272727
Solución C	Mecánico	0	0,5		1,5	0,27272727
Suma					5,5	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Posición						
Solución A	Encoder Incremental BEI Sensores		1	1	2,5	0,45454545
Solución B	Encoder Absolute BEI Sensores	0		0,5	1,5	0,27272727
Solución C	Encoder Incremental CALT	0	0,5		1,5	0,27272727
Suma					5,5	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	pondera.
Controlador						
PLC						
Solución A	Allan Bradley		1	1	2,5	0,45454545
Solución B	Siemens	0		0,5	1,5	0,27272727
Solución	Delta	0	0,5		1,5	0,27272727

CONTINÚA 

C							
Suma						5,5	1
Panel View							
Solución A	Allan Bradley		1	1	2,5	0,45454545	
Solución B	Siemens	0		0,5	1,5	0,27272727	
Solución C	Delta	0	0,5		1,5	0,27272727	
Suma						5,5	1
		Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	pondera.	
Actuador							
Motor							
Solución A	Baldor		1	1	2,5	0,45454545	
Solución B	ABB	0		0,5	1,5	0,27272727	
Solución C	Marathon	0	0,5		1,5	0,27272727	
Suma						5,5	1
Drive							
Solución A	LS		1	1	2,5	0,45454545	
Solución B	ABB	0		0,5	1,5	0,27272727	
Solución C	Allan bradley	0	0,5		1,5	0,27272727	
Suma						5,5	1

Y el cálculo de la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Tabla 14

Tabla de conclusiones

	Peso x0,1	alta fiabilidad x0,1	precisión y exactitud x0,4	Precio x 0,4	\sum	Prioridad
Solución A	0,25	0,5	0,375	0,45454545	0,40681818	1
Solución B	0,25	0,25	0,375	0,27272727	0,30909091	2

CONTINÚA 

B						
Solución	0,5	0,25	0,25	0,27272727	0,28409091	3
C						

3.1.3 Implementación

Para la ubicación del encoder se hace un soporte mecánico con las especificaciones que se observa en la figura 22, estas especificaciones están basadas en las medidas del encoder y la ubicación cerca del eje del tornillo sin fin de desplazamiento de la escuadra.

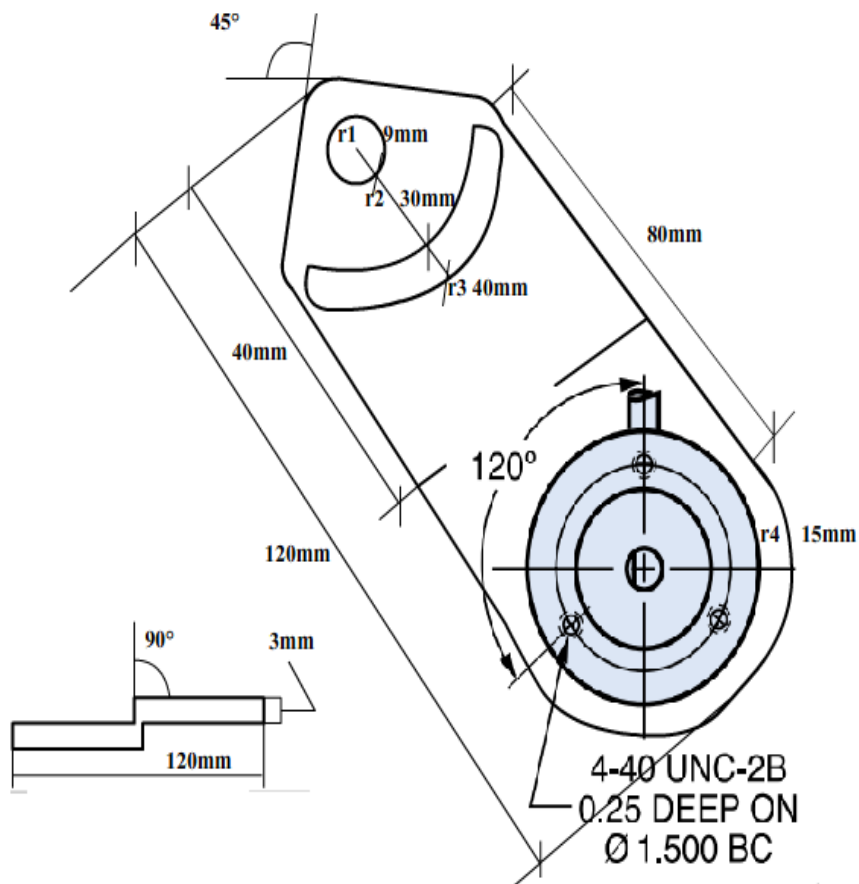


Figura 22 Soporte para adaptación de encoder

Para transmitir el movimiento se usa dos piñones con una cadena, el un piñón es de 36 dientes con un paso de 8mm para el eje del tornillo sin fin de la escuadra y para el encoder tiene un piñón de 12 dientes con un paso de 8mm.

La cadena es con un paso de 8mm de una longitud de 130mm como se puede observar en la figura 23.

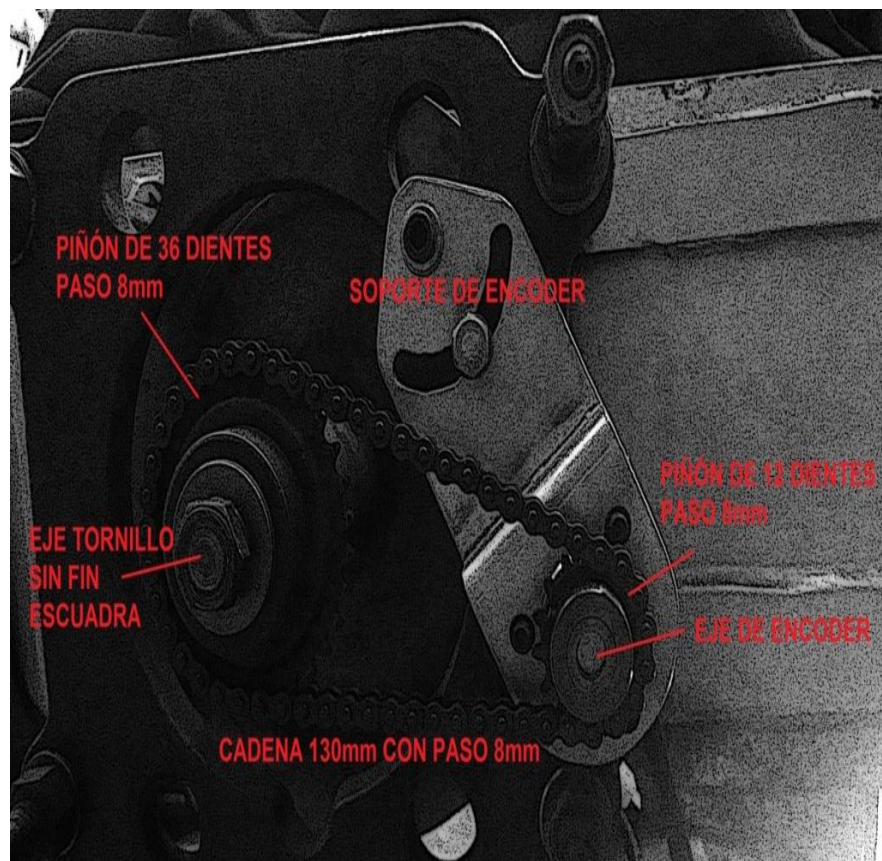


Figura 23 Adaptaciones Mecánicas Para Encoder

Con estos se tiene una relación de movimiento de 1 a 3, esto quiere decir mientras dé una vuelta en el tornillo sin fin de la escuadra dará como respuesta por transmisión de movimiento tres vueltas en la del

encoder.

El propósito de esta relación es obtener mayor resolución dentro del sistema triplicándose los pulsos por vuelta del encoder a 1800 por vuelta.

Para los sensores inductivos se tiene dos tipos de bases cada una con función específica dado al lugar donde se colocan.

Para las medidas de los mismos se pueden observar en las figura14 y para el otro soporte en la figura 25.

El objeto de estos soportes es fijar bien los sensores inductivos que harán de finales de carrera y de detección de cuchilla y al pisón.

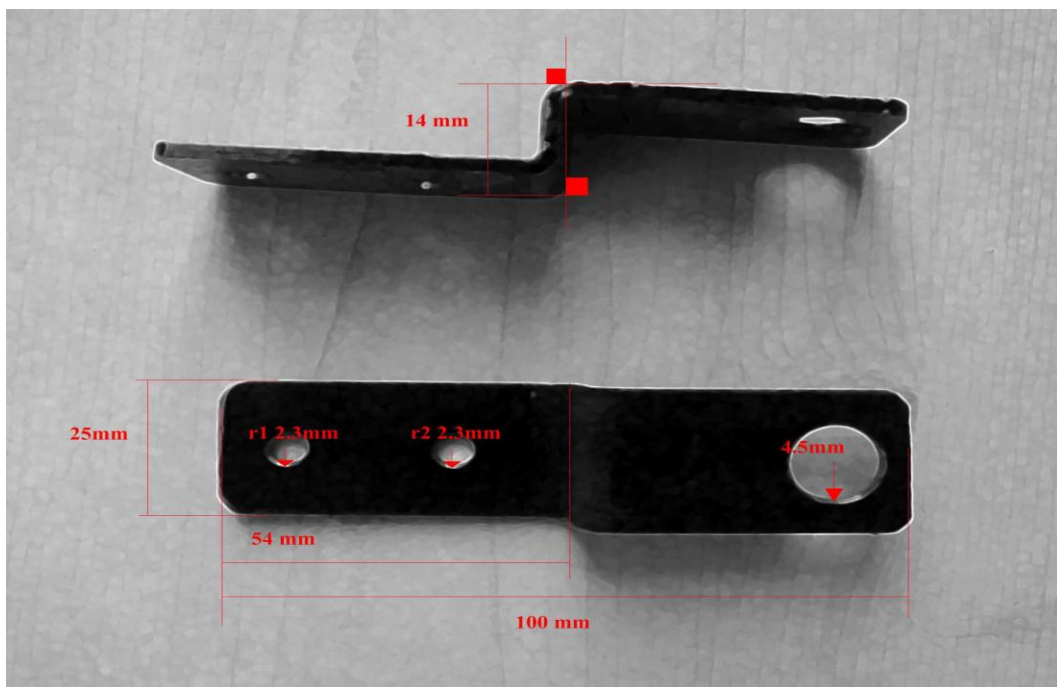


Figura 24 Soporte inductivo tipo 1

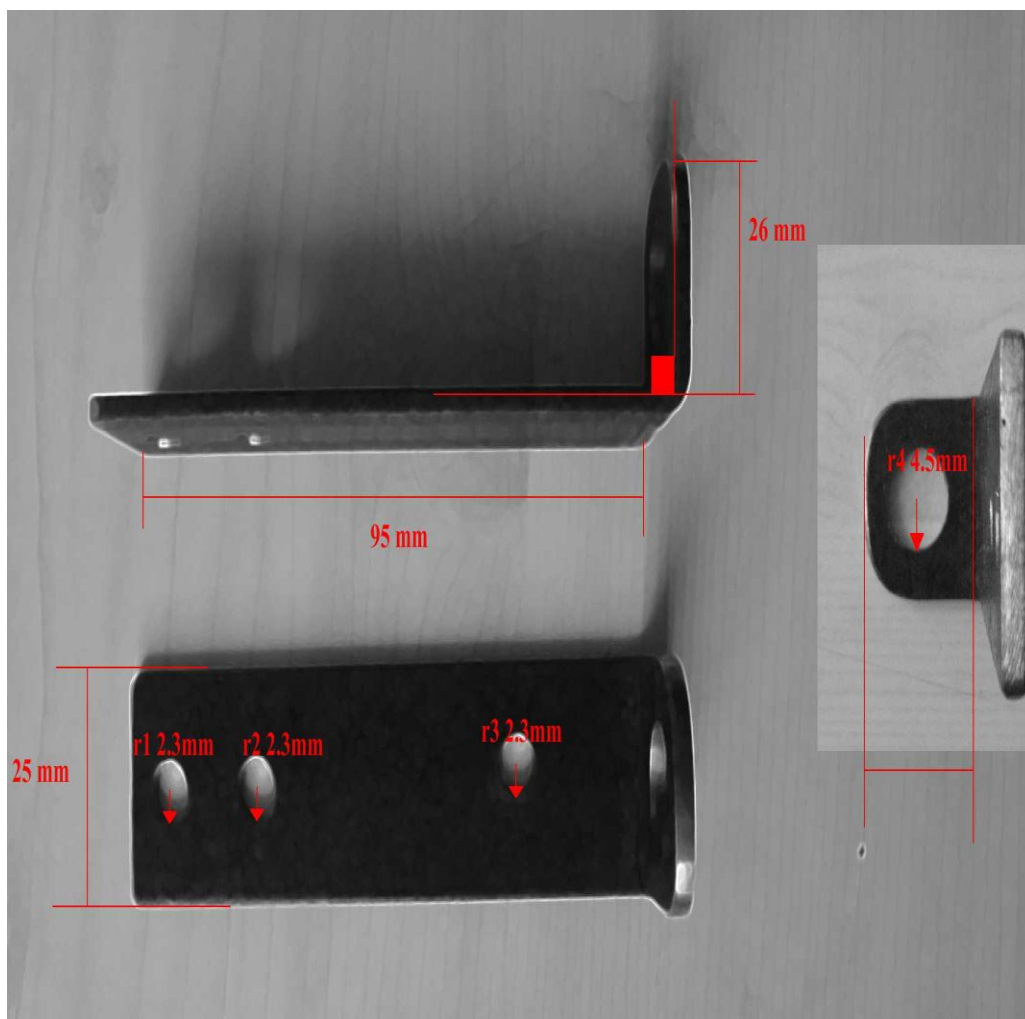


Figura 25 Soporte inductivo tipo 1

Un soporte tipo 1 se usa para el final de la escuadra cuando hace el movimiento hacia atrás como se observa en la figura 26 y figura 27.

Otro soporte tipo 2 se ubica debajo de la mesa de la escuadra cerca del eje del tornillo sin fin para que pueda detectar el inicio y con esto pueda saber el sistema cuales son los límites por los cuales se puede desplazar la escuadra como se aprecia en la figura 28.

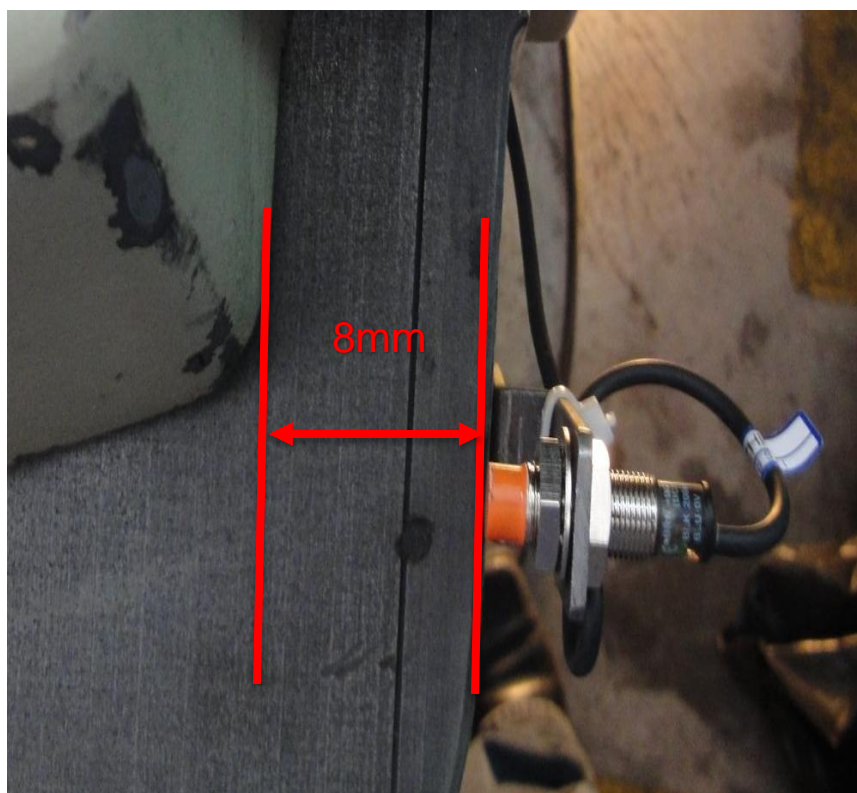


Figura 26 Final de carrera hacia atrás vista superior

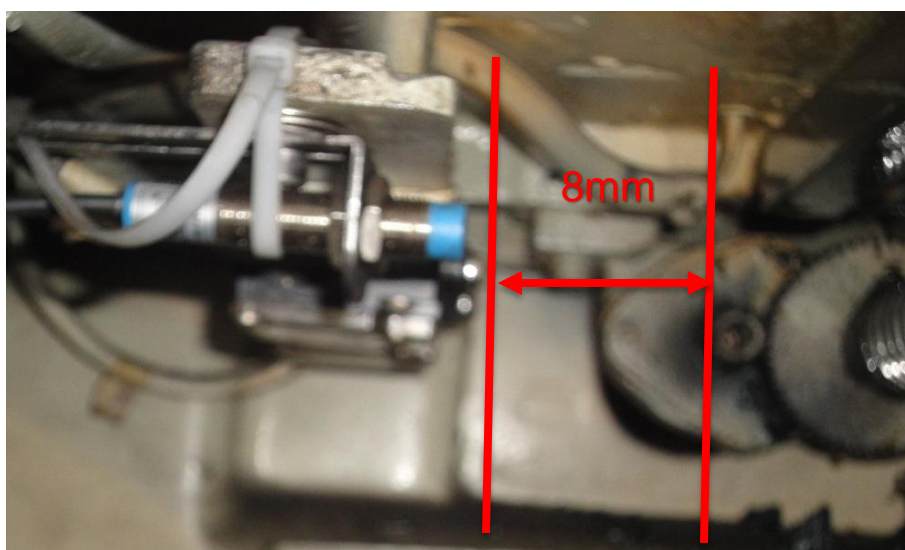


Figura 27 Final de carrera hacia adelante vista lateral

Para la detección de la bajada de cuchilla y pisón se usa soportes de sensor inductivo tipo 2 y se coloca a una distancia de 10 mm como se aprecia en la figura 29 y figura 30.



Figura 28 Sensor de pisón



Figura 29 Sensor de cuchilla

3.2 Identificación de Planta

Para identificar la planta es por medio del primer método de identificación de las reglas de sintonización de Ziegler – Nichols, se

obtiene una respuesta al escalón unitario como se muestra en la figura 31. De donde se obtiene de la siguiente tabla A1 anexos A de datos la cual da el siguiente gráfico en resumen de los datos analizados de dicha tabla ver figura31.

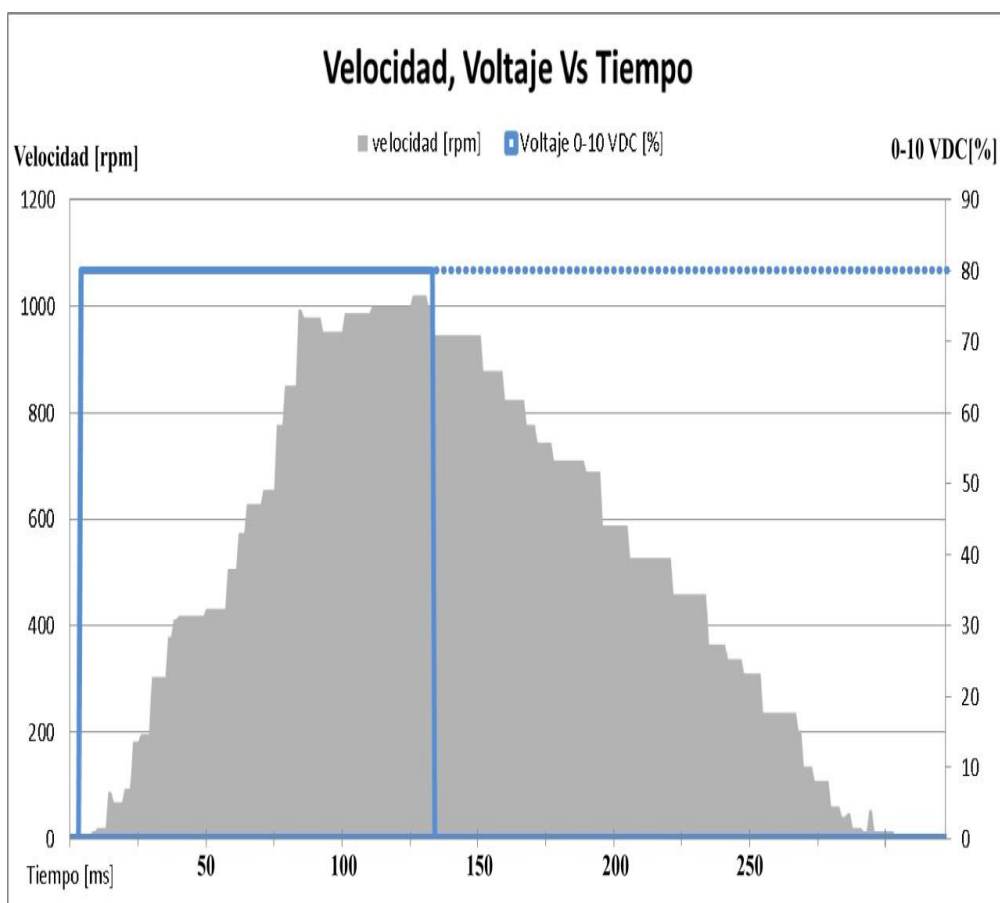


Figura 30 Gráfico Voltaje y Velocidad Vs Tiempo

En este gráfico de la figura 31 analizando lo que sucede se aprecia que se aplica una señal step de velocidad al 80 % de la velocidad máxima para ver el comportamiento de la planta.

Así se puede apreciar que en menos de 100 milisegundos llega a la velocidad aproximada de 1000rpm hasta que se retira o finaliza la señal de entrada. Se ve como empieza a caer la velocidad lentamente hasta detenerse después de 200 milisegundos.

Con estos datos usando el software de Matlab la herramienta de Ident se ingresa los datos en el dominio en el tiempo como se ve en la figura 32, a continuación se ingresara las variables que de la planta de entrada y salida del sistema como esta en la figura 33.

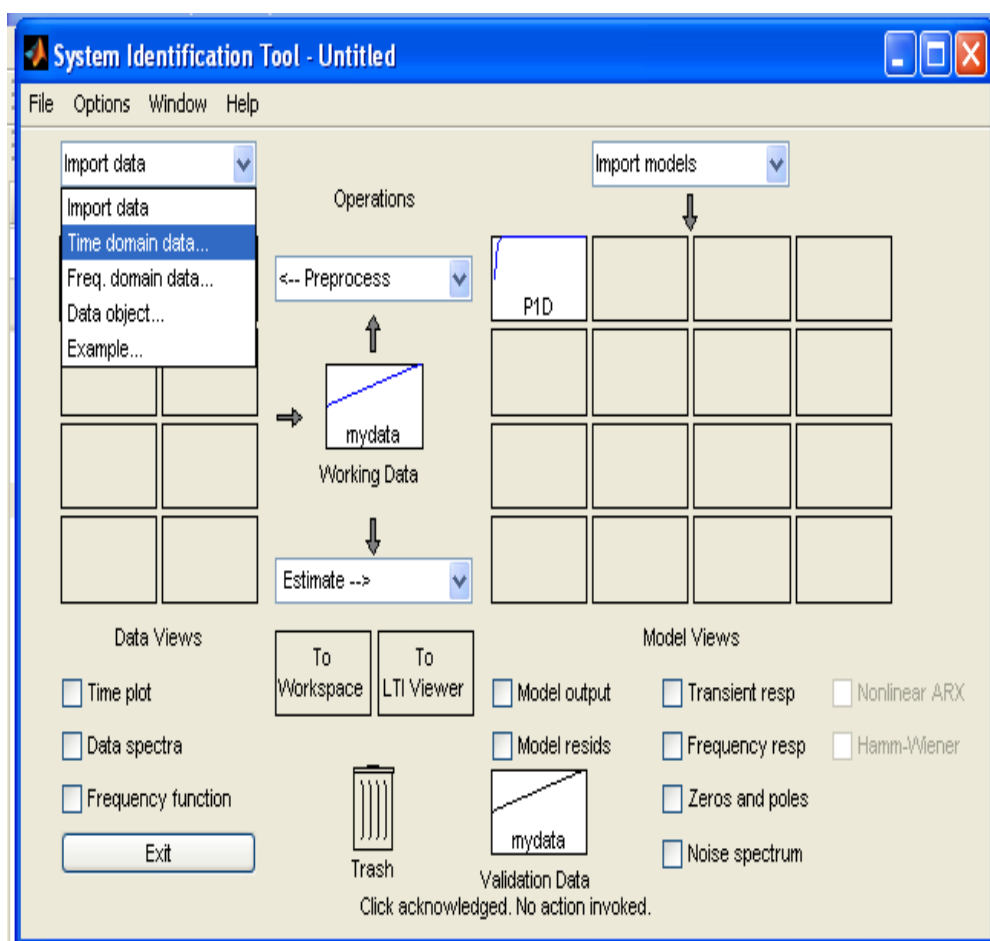


Figura 31 Herramienta Ident configurada en dominio del tiempo

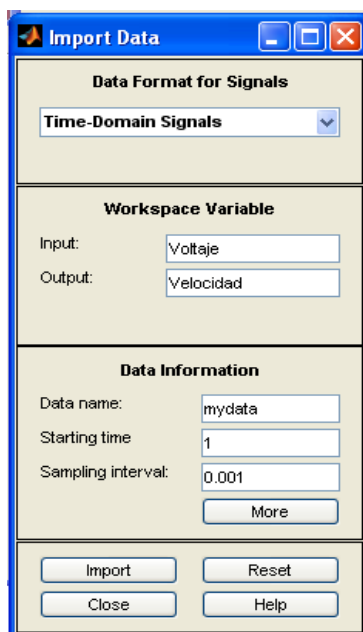


Figura 32 Ingreso de variables de entrada y salida

Después se selecciona el modelo al que se estimara en process model ver la figura 34 que se indica a continuación:

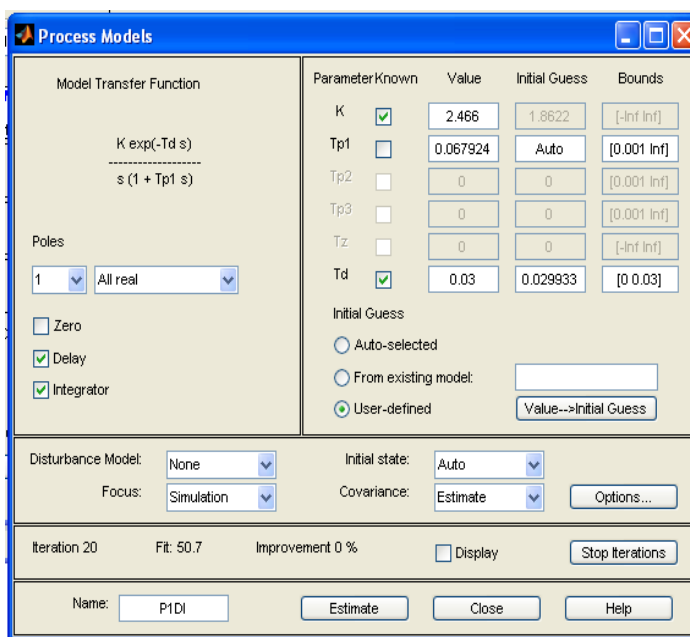


Figura 33 Selección de modelo en este caso llamado P1D

Entre las capacidades de esta herramienta es mostrar el comportamiento del modelo estimado cuanto se acerca a la realidad como esta en la figura 35.

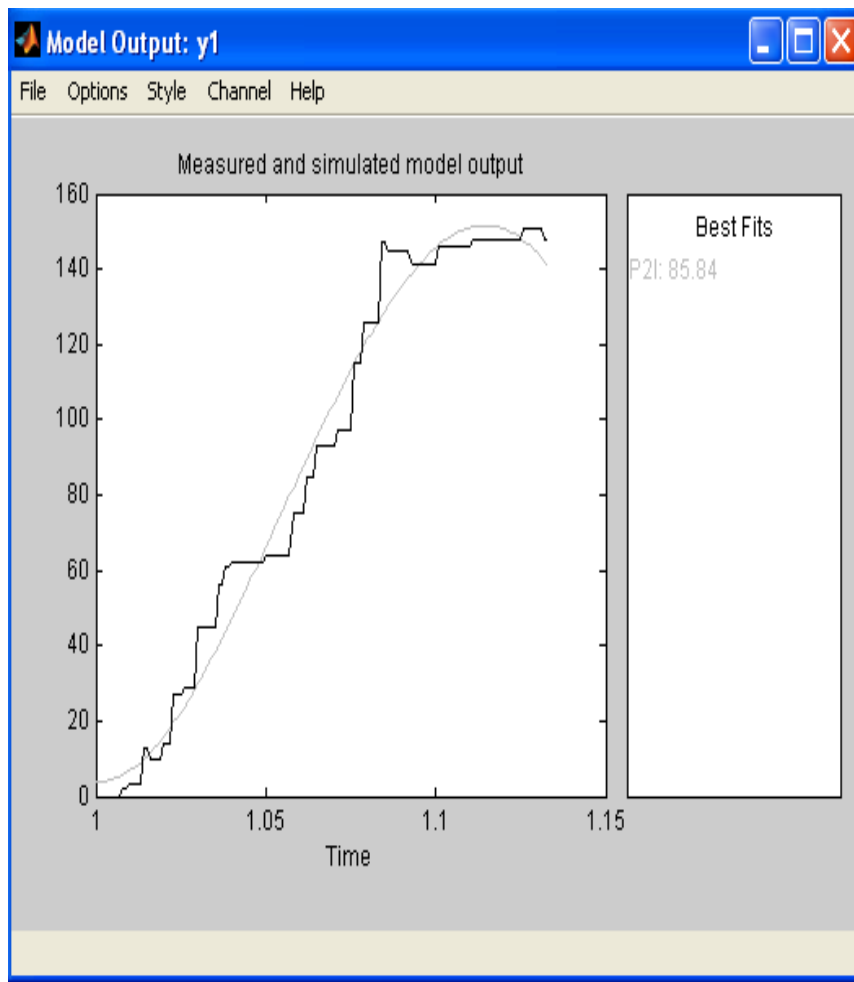


Figura 34 Porcentaje de modelo al real

Así el modelo estimado de la planta es el siguiente, el cual ya está con un integrador lo cual es para llevar de velocidad a posición:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{2.466 e^{-0.03s}}{s(1 + 0.067924s)}$$

3.3 Desarrollo del sistema de control

3.3.1 Diseño del Control y Simulación

El diseño del algoritmo consiste en que se desea un sistema en el cual está compuesto de dos modos: manual y automático. El Modo Manual tiene dos capacidades la primera es mover la escuadra sobre la mesa por medio de dos botones tipo pulsador uno hacia adelante y otro atrás, esto quiere decir que se moverá la escuadra mientras se tenga presionado el botón.

La otra capacidad del Modo Manual consiste en una interfaz gráfica donde el usuario puede ingresar por medio de un teclado un valor específico de medida y el sistema ubicará la escuadra en dicho valor deseado después de aplastar un botón que autorice la operación.

El otro Modo Automático consiste en que el usuario puede escoger entre varias listas que están formadas cada una por un número de medidas de corte especificados, estos valores se ingresan por medio de una interfaz gráfica para ser guardados en las listas.

El usuario puede escoger cualquiera de estas listas que tienen cortes previamente guardados, el sistema posicionará la escuadra a cada una de las medidas de corte cada vez que baje la cuchilla de la guillotina y corte el material. Ver Diagrama de Flujo Anexo Diagramas.

El control para este sistema es un proporcional, integral y derivativo

para así aprovechar al máximo la combinación de los tres tipos de control para manejar la velocidad precisión y exactitud del posicionamiento de la escuadra de la guillotina.

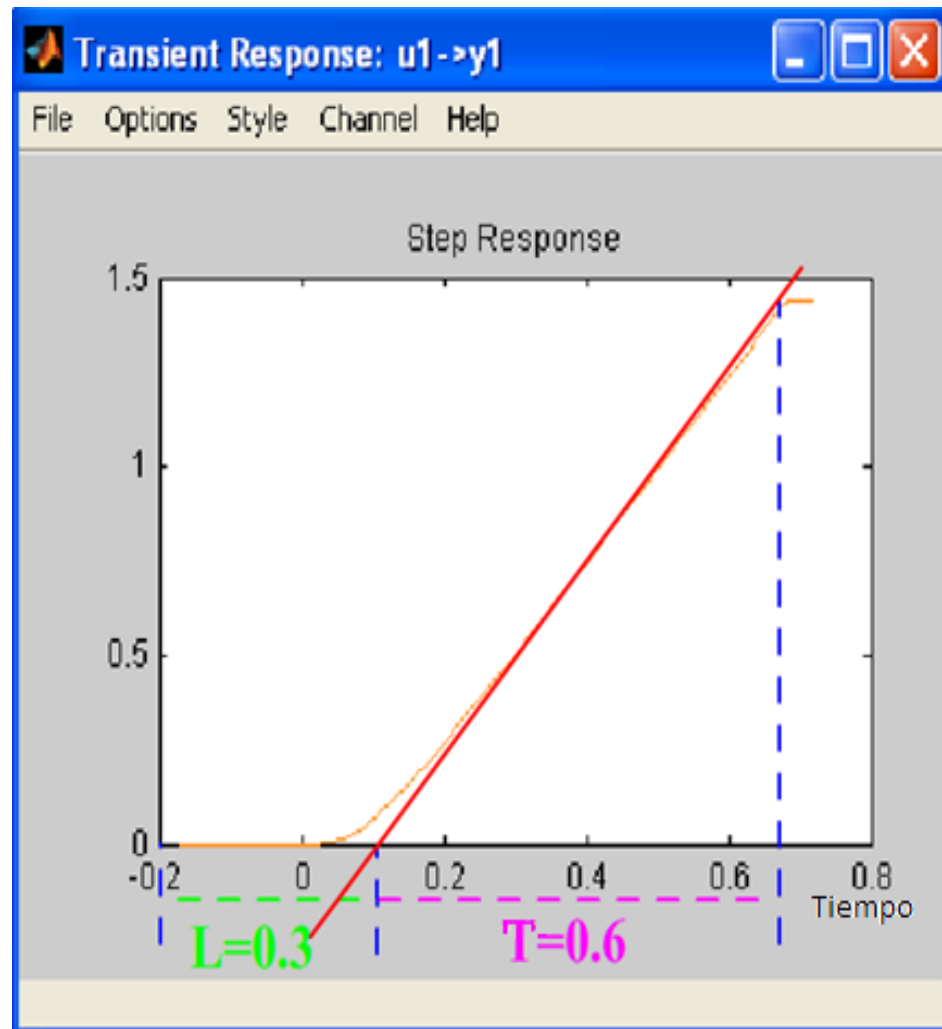


Figura 35 Respuesta al escalón de la planta

Con el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols para controladores PID se pueden obtener los parámetros a través de la siguiente tabla 6.

Siendo la forma del modelo el siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{1.4e^{-0.3s}}{0.6s+1}$$

Se calcula constantes proporcional, integral y derivativa como se muestra en la siguiente tabla 15:

Tabla 15
Calculo de constantes

Constante	Formula	Calculo	Resultado
K_p	$1.2 \frac{T}{L}$	$1.2 \frac{0.6}{0.3}$	2.4
τ_i	$2L$	2×0.3	0.6
τ_d	$0.5L$	0.5×0.3	0.15

La simulación del sistema completo en Simulink que es otra herramienta de Matlab siguiendo el esquema que se puede ver figura 37, da como resultado del control lo que se aprecia en la figura 38, que no hay sobre impulsos y que el tiempo de estado estacionario se ha reducido.

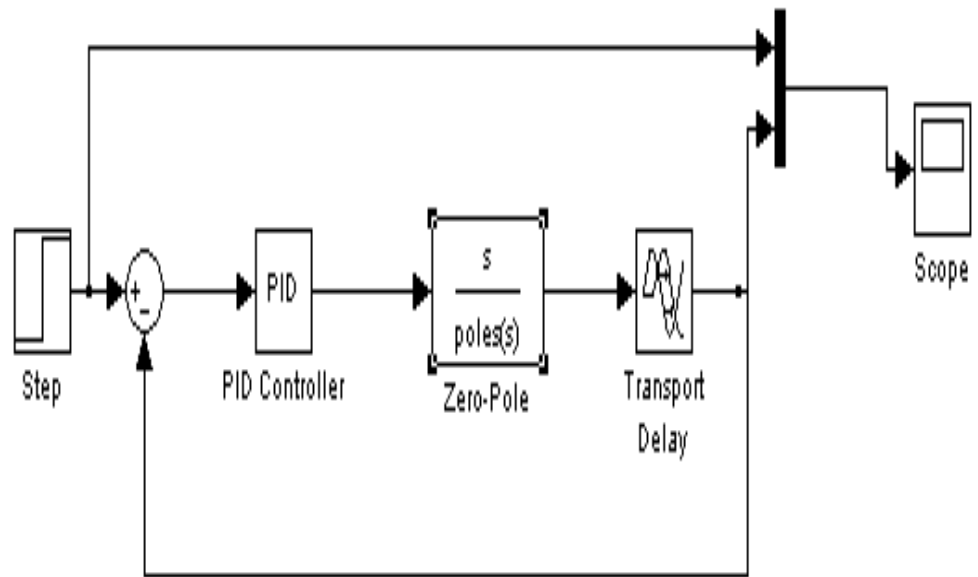


Figura 36 Esquema de sistema de control en Simulink

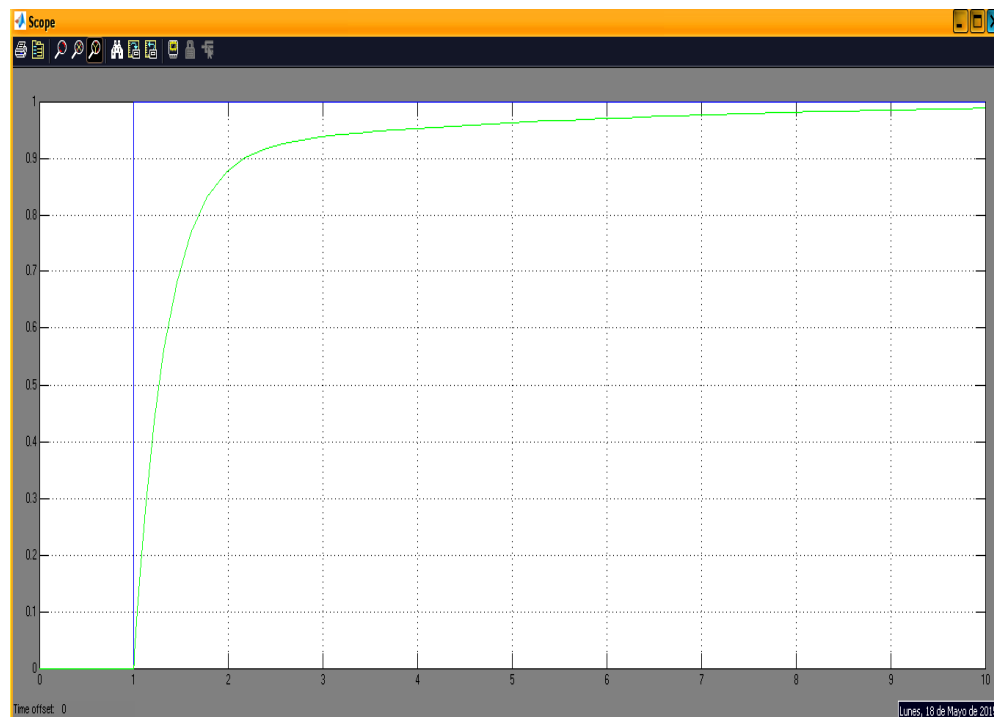


Figura 37 Respuesta del sistema al escalón con el PID estimado

3.3.2 Proceso de Implementación

Para la implementación del sistema de control se hace una instalación del controlador en un armario y de igual manera los demás elementos de control, protección y de potencia para realizar la acción de control sobre el motor que moverá la escuadra, además se colocara en otro gabinete el control de la guillotina.

La guillotina polar 145 funciona con tres fases su motor principal por facilidad tiene un interruptor estrella – delta para el encendido.

Luego tiene un sistema de seguridad para protección del operador muy independiente del sistema de posicionamiento de la escuadra, este sistema de seguridad como se puede ver en la figura 39 tiene como función principal el evitar accidentes del operador.

Que se haga daño el operador con la guillotina ya se por falla humana o de la máquina, cuando un objeto se atraviesa por este haz de luz de las células fotoeléctricas e interrumpe el paso desde el emisor hasta el receptor para a la cuchilla en su bajada como se puede apreciar en la figura 40.

Esta seguridad es muy importante, ha evitado muchos accidentes en el ambiente laboral siendo así las estadísticas dicen “De un total de 215 accidentes graves y 6 accidentes mortales ocurridos en la provincia de Barcelona en la Industria de Artés Gráficas entre los años 1972-1981, en la guillotina se han contabilizado 19 accidentes graves y ninguno mortal

lo que representa el 83% del total de los accidentes graves del sector durante el período de tiempo muestreado” (Tomás, 2011, pág. 2)

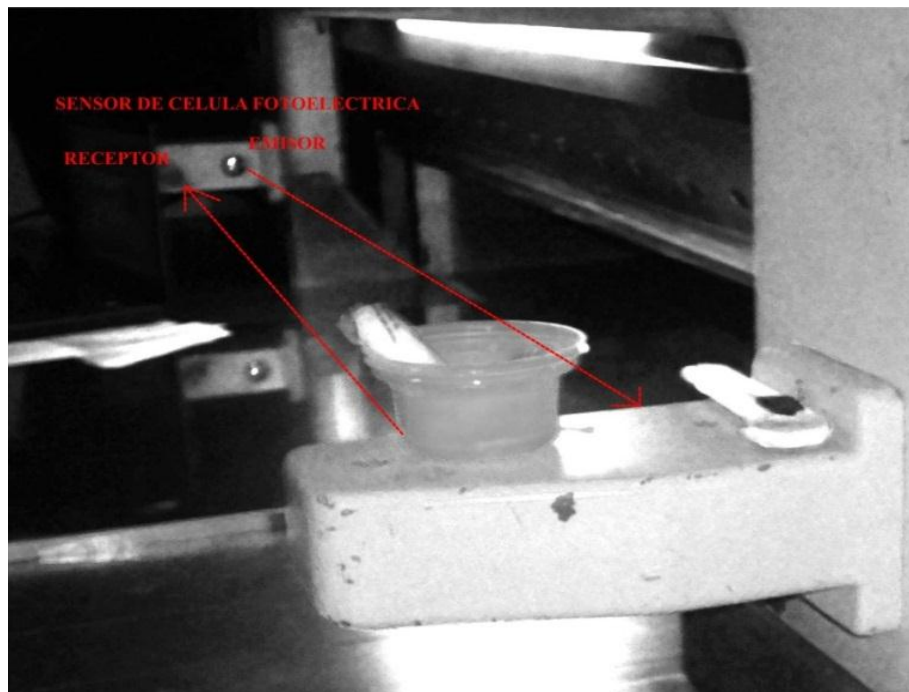


Figura 38 Sensor de seguridad de la cuchilla

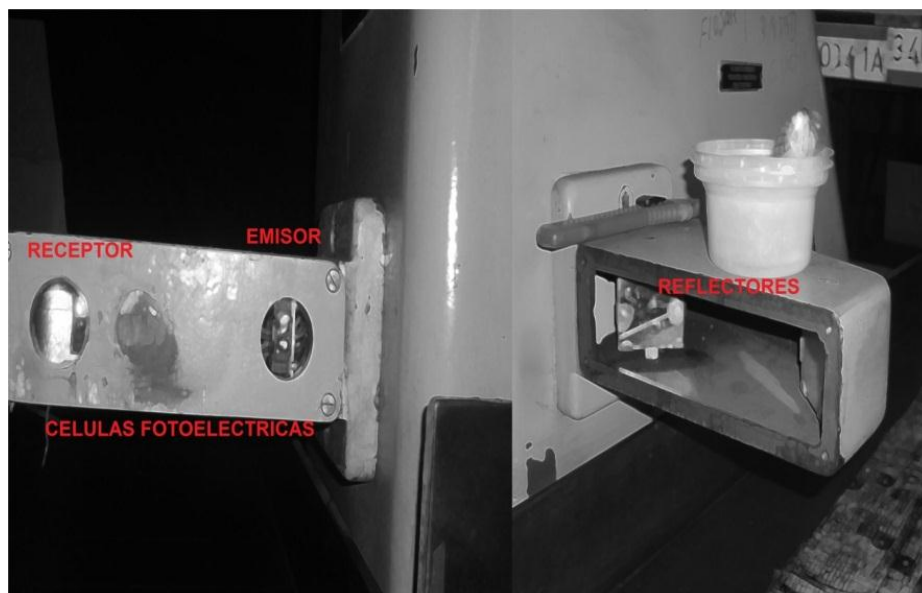


Figura 39 Células fotoeléctricas de seguridad

Las conexiones que están hechas en el gabinete se lo puede ver en el diagrama del anexo 2, el gabinete consta su circuito con fusibles para la protección de 10 A para la parte de potencia y para la parte de control.

Luego tiene otra protección que son breakers de 10 Amperios trifásico para la parte de potencia y la de control de 3Amperios como se puede ver en la figura 40 y figura 41.



Figura 40 Fusibles en el gabinete

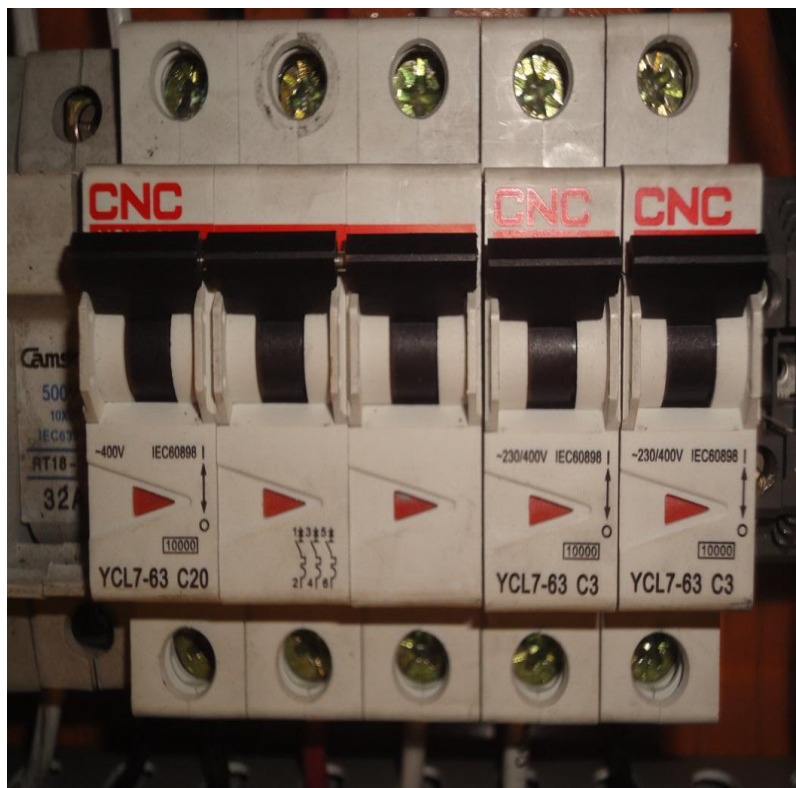


Figura 41 Breakers en el gabinete

Para alimentar al panel view c600 y los sensores se usa una fuente independiente de 24 VDC a 5 Amperios, para la comunicación entre el PLC Micrologix 1100 ver figura 42 y en Panel View C600 se lo hace por medio de un cable UTP categoría 5e, la alimentación es con cable flexible AWG 18 para el Panelview y los sensores. Para la parte de potencia se usa cable AWG 14 de tres hilos. Con estas precauciones se evita que la carga en los cables sea demasiada con esto se asegura que no se calienten y puedan quemarse. Para las canaletas dentro del gabinete son de ½ pulgada y todo lo referido a comunicación y datos se usa cable UTP categoría 5e.



Figura 42 Micrologix en el Gabinete

El Drive usado es el SV-iG5A cuyas características son: 1.5 hp, 10 Amperios, configurable para motores bifásicos y trifásicos ver figura 43. El motor para el movimiento de la escuadra es trifásico, con 1250 RPM, 0.5 hp, el cual será controlado por el driver, entre las prestaciones del driver es el poder controlar su velocidad mediante la variación analógica de voltaje continuo de una de sus entradas que va en el rango de 0 a 10 V DC por medio de la entrada V1 como muestra en el anexo 3.



Figura 43 Drive en el gabinete

3.3.3 Tabulación y Resultados

El funcionamiento del sistema para posición se empieza por realizar mediciones de toda la mesa en función de los pulsos que se genera en el transcurso, para obtener una ecuación lineal la cual relacione los pulsos producidos por el encoder con el desplazamiento.

Para esto se toma datos usando la conexión mostrado en Anexo Diagramas Conexión de toma de datos, estos datos están en la tabla 10. Con estos valores se puede realizar una gráfica del comportamiento como se muestra en la figura 45 y obtener una ecuación la cual relacione entre los pulsos y centímetros.

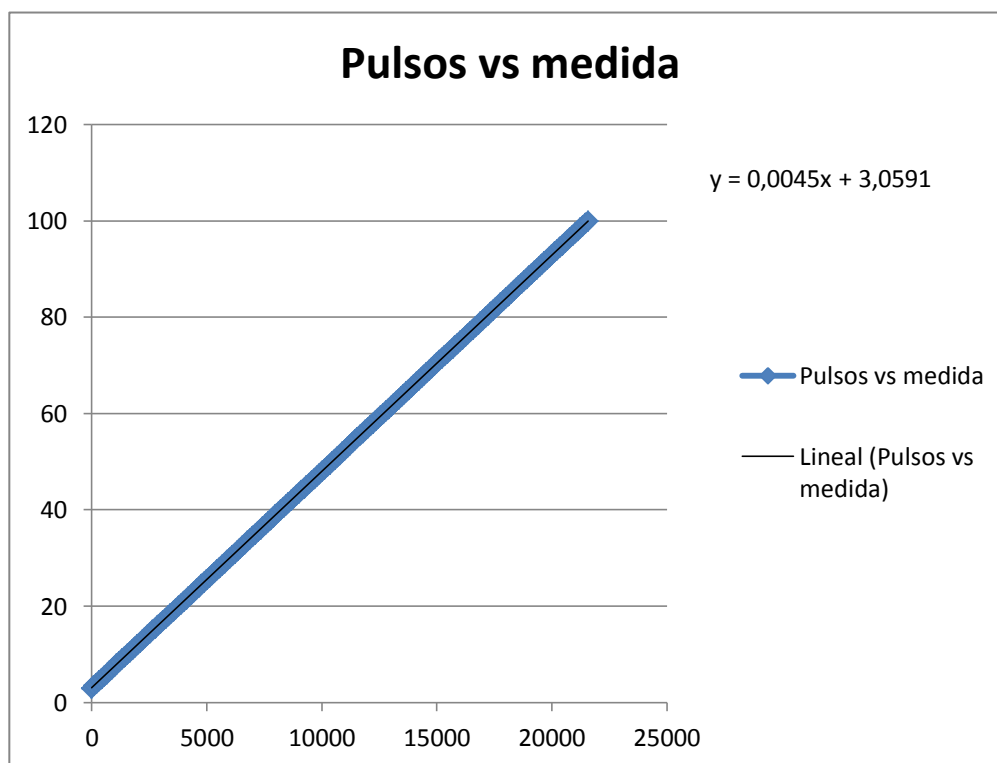


Figura 44 Ecuación de Medida

Ahora se toma medidas exactas con un calibrador para observar cómo está posicionando el sistema la escuadra sobre la mesa se muestra en la siguiente tabla 16.

Tabla 16
Precisión y exactitud en la medida

Valor nominal	Valor real	Error
10	10,02	-0,002
20	19,97	0,0015
30	29,98	0,00066667
40	40,02	-0,0005
50	50,01	-0,0002
70	69,99	0,00014286
80	80,01	-0,000125
90	89,99	0,00011111

El tiempo en el cual se tarda el sistema en llegar al valor ingresado por el panel view difiere va entre meno de un segundo en el tiempo hasta cuatro segundos, esto sucede porque el sistema mecánico ejerce inercia y arrastra un poco al momento de frenar, por este motivo se sintonizo heurísticamente las constantes del control modificándolas con criterio para que este problema no afecte demasiado en el sistema.

Estos son los parámetros experimentales a los cuales responde de una mejor manera el sistema:

Tabla 17
Parámetros experimentales

Constante	Valor
K_p	1.85
τ_i	3.5
τ_d	2.5

3.4 Desarrollo de interfaz

Para el desarrollo de la interfaz gráfica con el usuario se toma muy en cuenta las directrices dadas por la guía GEDIS, para el diseño.

3.4.1 Diseño

Arquitectura

Para la arquitectura se establece que hay tres niveles de navegación, en los cuales comprende pantalla principal, operación manual, operación automático, configuraciones y una pantalla para ingresar una lista de cortes guardados

Los niveles y cómo interactúan entre ellas se las puede observar en la figura 45. Donde también se señala el nombre que tiene cada pantalla.

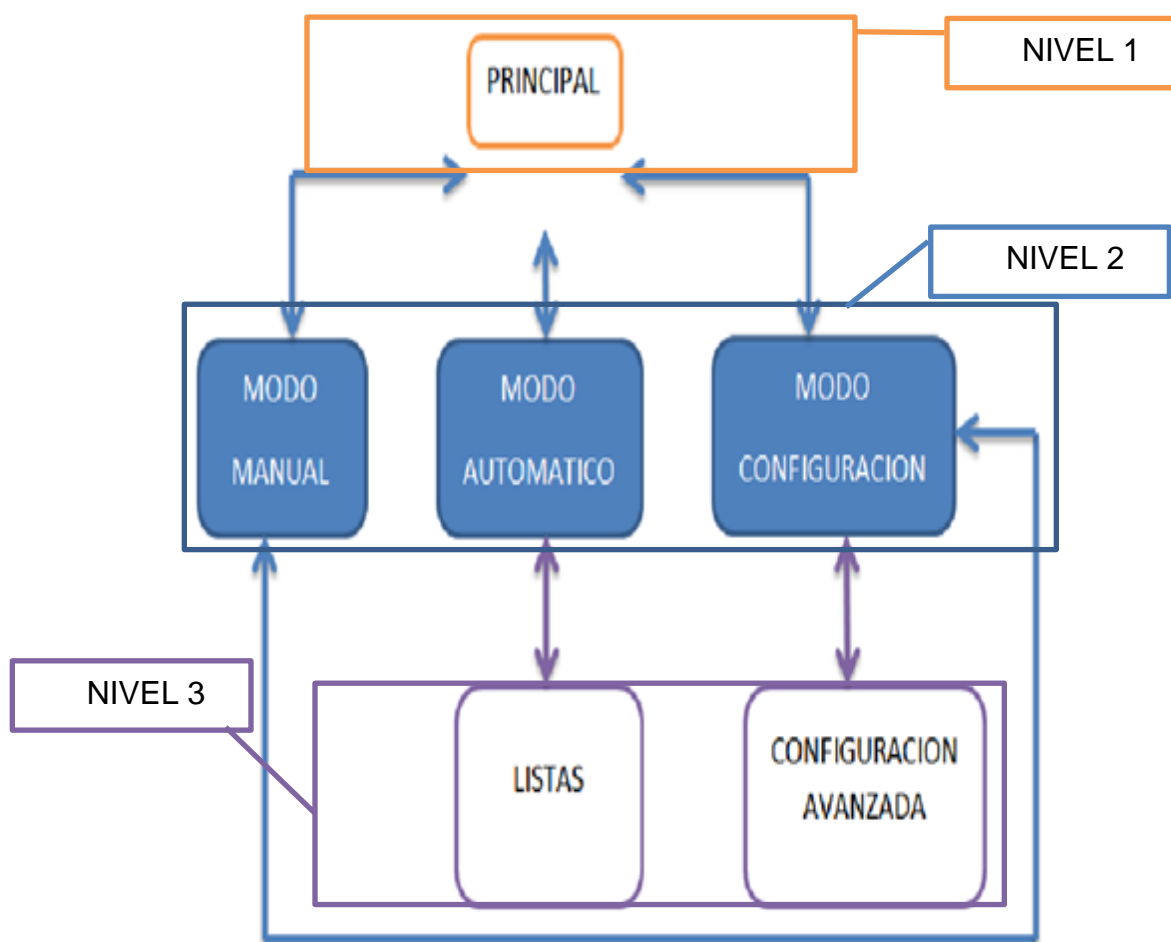


Figura 45 Arquitectura y Navegación de HMI

Distribución de Pantalla

Para la distribución de las pantallas se genera una plantilla que es base para todas las pantallas, esta plantilla tiene ciertas consideraciones como son:

- Las características de hardware y de software del panel view
- El nivel de conocimiento del operador de tal manera que le sea fácil usar

Y considerando las directrices de la guía GEDIS, la plantilla generada se la aprecia en la figura 45 con su descripción en la tabla 18. La cual usa de la mejor manera las características del panel view.

VENTANA PRESENTACION



Figura 46 Plantilla general para HMI

Tabla 18
Descripción de Plantilla de Pantalla Principal

No.	Descripción
1	Logotipo y nombre de la empresa
2	Mímicos: es una imagen de la guillotina Polar
3	Botones de navegación: Este menú permite navegar entre las distintas pantallas anteriormente mencionadas

En la siguiente tabla 19 se establece las dimensiones de los elementos que tendrá la pantalla de presentación.

Tabla 19
Dimensiones de Pantalla Principal

ELEMENTO		TAMAÑO	
		ANCHO [px]	ALTO [px]
VENTANA GENERAL	IMAGEN	420	200
VENTANA NAVEGACIÓN	BOTONES	420	45
LOGO		420	100
BOTONES SUBMENU	DE	30	30

Para las pantallas de los modos manual y automático se tiene la siguiente plantilla ver figura 47.

VENTANA DE MODO AUTOMÁTICO Y MANUAL

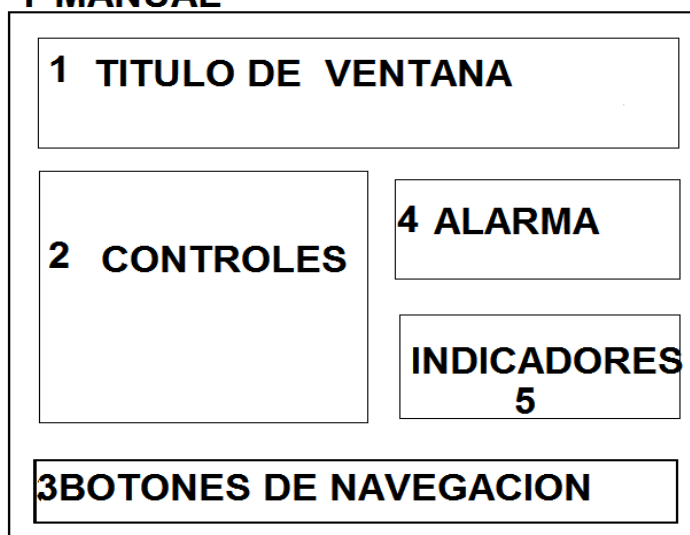


Figura 47 Plantilla de modos automático y manual

Tabla 20

Descripción de Pantalla de Modos Automático y Manual

No.	Descripción
1	Logotipo y nombre de la empresa
2	Controles: son botones los cuales permiten mover la escuadra a través de la mesa
3	Botones de navegación: Este menú permite navegar entre las distintas pantallas que son la principal, configuración y listas.
4	Alarma: este es un indicador el cual comunica cuando hay problemas con el driver del motor
5	Indicadores: este elemento muestra la posición actual de la escuadra, cuando baja el pisón y la cuchilla.

En la siguiente tabla 21 se establece las dimensiones de los elementos que tendrán las pantallas de Modo Automático y manual.

Tabla 21

Dimensiones de la Plantilla de Modos Automático y Manual

ELEMENTO	TAMAÑO	
	ANCHO [px]	ALTO [px]
CONTROLES	220	90
INDICADORES	60	60
BOTONES	30	30
NAVEGACIÓN	45	45
LUCES	20	20
INDICADORAS		
ALARMAS	60	40

Navegación

La navegación entre las ventanas se puede apreciar en la figura 45, la cual es horizontal para que el operador tenga una mayor facilidad para desplazarse entre las diferentes áreas.

Color

Todos los colores seleccionados están referidos a la codificación RGB, con esto se evita confusiones entre tonalidades entre los colores. Además de seguir las directrices ya antes mencionadas en la guía GEDIS se obtiene la siguiente tabla 14 del color y su uso en los elementos de las diferentes pantallas.

Color de fondo de la pantalla

Para el color del fondo de las pantallas está establecido el color gris porque que no produce un alto contraste con los demás elementos utilizados para el diseño de la interfaz.

Color de texto

El color de texto elegido es el siguiente

Títulos: Negro

Texto normal: Blanco

Tabla 22

Color de texto

TEXTO		
Fondo Pantalla		Gris
Texto Titulo		Negro
Texto Normal		Blanco
Botones		Azul
Fondos titulo principal		Verde
Fondo de controles otros		Azul claro
Alarmas		Rojo
Indicador Activo		Verde 1
Indicador Pasivo		Gris 1

Código RGB

La siguiente tabla muestra los códigos RGB de la tabla 23.

Tabla 23
Código RGB

Color	Red	Green	Blue
Gris	178	178	178
Negro	0	0	0
Blanco	255	255	255
Azul	0	0	255
Verde	0	204	255
Azul claro	51	153	255
Rojo	255	0	0
Verde1	0	0	255
Gris1	77	77	77

El tipo de texto es el siguiente:

Tabla 24
Tipo y tamaño de letra

Tipo	Tamaño	Uso
Arial	18	Títulos de ventana
Arial	14	Títulos de controles e indicadores
Arial	12	Texto en botones

3.4.2 Proceso de Implementación

Con todos estos parámetros establecidos se tiene como resultado las siguientes pantallas desarrolladas en el software Connected Components Workbench.

Pantalla Principal

Al iniciar el sistema aparecerá la siguiente ventana de inicio donde permite navegar entre las diferentes ventanas como se parecía en la figura 48.



Figura 48 Pantalla Principal

A continuación con la respectiva descripción de la pantalla en la tabla 25

Tabla 25 Descripción de Pantalla Principal

No.	Descripción
1	Logotipo y nombre de la empresa
2	Mímico de la guillotina
3	Botón de ingreso a la ventana del MODO MANUAL
4	Botón de ingreso a la ventana del MODO AUTOMATICO
5	Botón de ingreso a la ventana del MODO CONFIGURACION

Pantalla Modo Manual

En este modo el operador puede mover por medio de pulsadores la escuadra, así como ingresar medidas y la escuadra se posicionara a dicha medida en la figura 49.

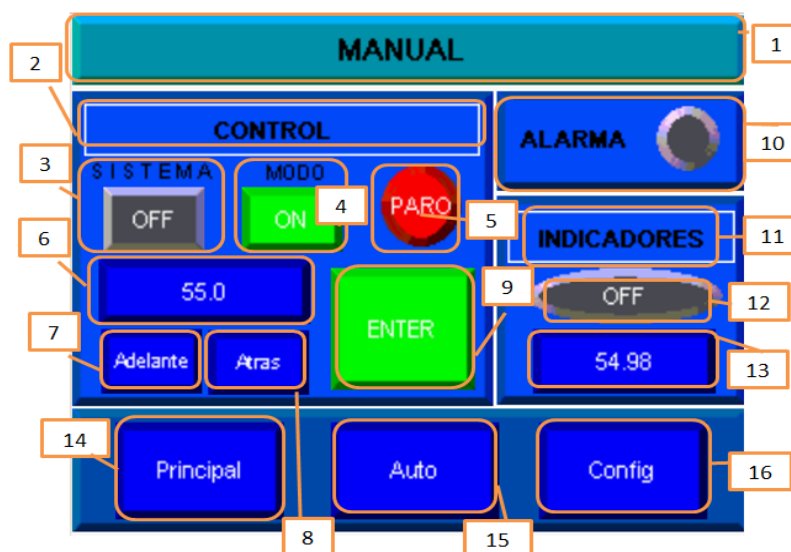


Figura 49 Pantalla Modo Manual

A continuación con la respectiva descripción de la pantalla en la tabla 26.

Tabla 26

Descripción de Pantalla Modo Manual

No.	Descripción
1	Título de pantalla "MODO MANUAL"
2	Título de apartado "CONTROL"
3	Botón para encender sistema
4	Botón para encender MODO MANUAL
5	Paro de emergencia
6	Ingreso de medida por teclado
7	Botón de desplazamiento hacia adelante
8	Botón de desplazamiento hacia atrás
9	Botón para posicionar la escuadra automáticamente y compensar medida
10	Indicador de alarma crítica
11	Indicadores
12	Indicador de pisón y cuchilla activa
13	Indicador de posición actual en centímetros con decimas de milímetros
14	Botón que lleva a ventana PRINCIPAL
15	Botón que lleva a ventana MODO AUTOMATICO
16	Botón que lleva a ventana CONFIGURACION

Pantalla Modo Automático

En este modo el operador puede seleccionar entre cinco recetas que son cuatro medidas de cortes pregrabados que ingrese el operador, con esto se tiene en total veinte medidas de cortes que se pueden grabar y cada medida se ubica después de cada corte ver figura 50.

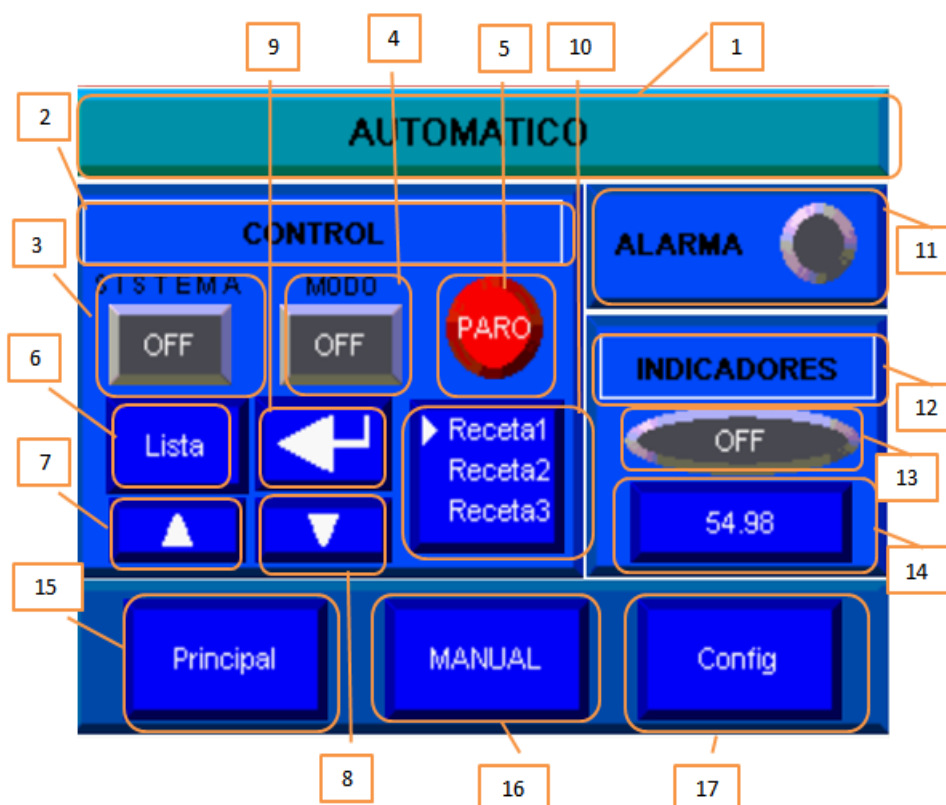


Figura 50 Pantalla Modo Automático

A continuación la descripción en la tabla 27.

Tabla 27

Descripción de Pantalla Modo Automático

No	Descripción
1	Título de pantalla "MODO AUTOMATICO"
2	Título de apartado "CONTROL"
3	Botón para encender sistema
4	Botón para encender MODO AUTOMATICO
5	Paro de emergencia
6	Botón de ingreso a ventana de listas
7	Botón de desplazamiento hacia arriba en las recetas
8	Botón de desplazamiento hacia abajo en las recetas

CONTINÚA



9	Botón para seleccionar la receta
10	Indicador de listas de recetas
11	Indicador de alarma critica
12	Indicadores
13	Indicador de pisón y cuchilla activa
14	Indicador de posición actual en centímetros con decimas de milímetros
15	Botón que lleva a ventana PRINCIPAL
16	Botón que lleva a ventana MODO MANUAL
17	Botón que lleva a ventana CONFIGURACION

Pantalla de Listas

En esta ventana el operador puede ingresar los valores de las medidas que desea guardar, esta las cinco recetas que consta de cuatro medidas de cortes cada una, ver figura 51.

Lista de Recetas		REGRESAR			
No. Receta	Corte1	Corte2	Corte3	Corte4	
Receta1	65.00	55.00	0.00	0.00	
Receta2	0.00	0.00	0.00	0.00	
Receta3	0.00	0.00	0.00	0.00	
Receta4	0.00	0.00	0.00	0.00	
Receta5	0.00	0.00	0.00	0.00	

Figura 51 Pantalla de Listas

A continuación la descripción de la pantalla en la tabla 28.

Tabla 28

Descripción de Pantalla de Listas

No.	Descripción
1	Título de ventana "Lista de Recetas"
2	Indicador de fila de recetas
3	Indicador de numero de receta
4	Regresar a ventana MODO AUTOMATICO
5	Indicador de columna de medidas de corte a guardar
6	Ingreso de medidas de corte

Pantalla de Modo Configuración

En este modo el operador puede modificar la VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO de la escuadra que afecta directamente en el MODO MANUAL ver figura 52.

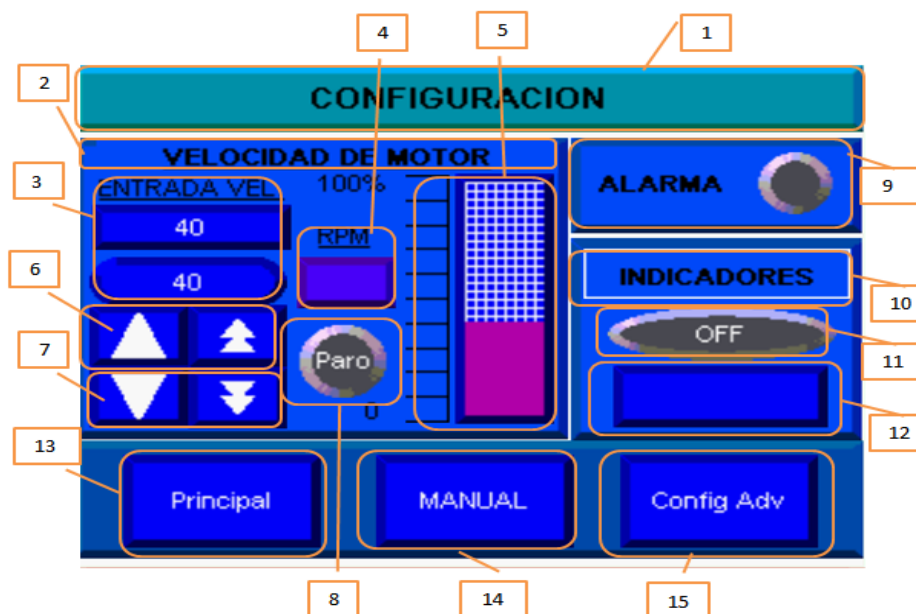


Figura 52 Pantalla de Configuración

A continuación la descripción de la pantalla en la tabla 29.

Tabla 29

Descripción de Pantalla Configuración

No	Descripción
1	Título de pantalla "MODO CONFIGURACION"
2	Título de apartado "VELOCIDAD DE MOTOR"
3	Ingreso y visualizador de valor de la velocidad de motor en porcentaje
4	Indicador de velocidad en RPM
5	Visualizador grafico de velocidad de motor en porcentaje
6	Botón de aumento de velocidad en porcentaje
7	Botón de decremento de velocidad en porcentaje
8	Botón de paro de emergencia
9	Indicador de alarma critica
10	Indicadores
11	Indicador de pisón y cuchilla activa
12	Indicador de posición actual en centímetros con decimas de milímetros
13	Botón que lleva a ventana PRINCIPAL
14	Botón que lleva a ventana MODO MANUAL
15	Botón que lleva a ventana CONFIGURACION AVANZADA

Pantalla de Configuración Avanzada

En este modo el operador puede modificar los PARAMETROS DEL CONTROLADOR siendo estas KC, TI, TD esto influye directamente en el posicionamiento automático del sistema y su respuesta en la figura 53.

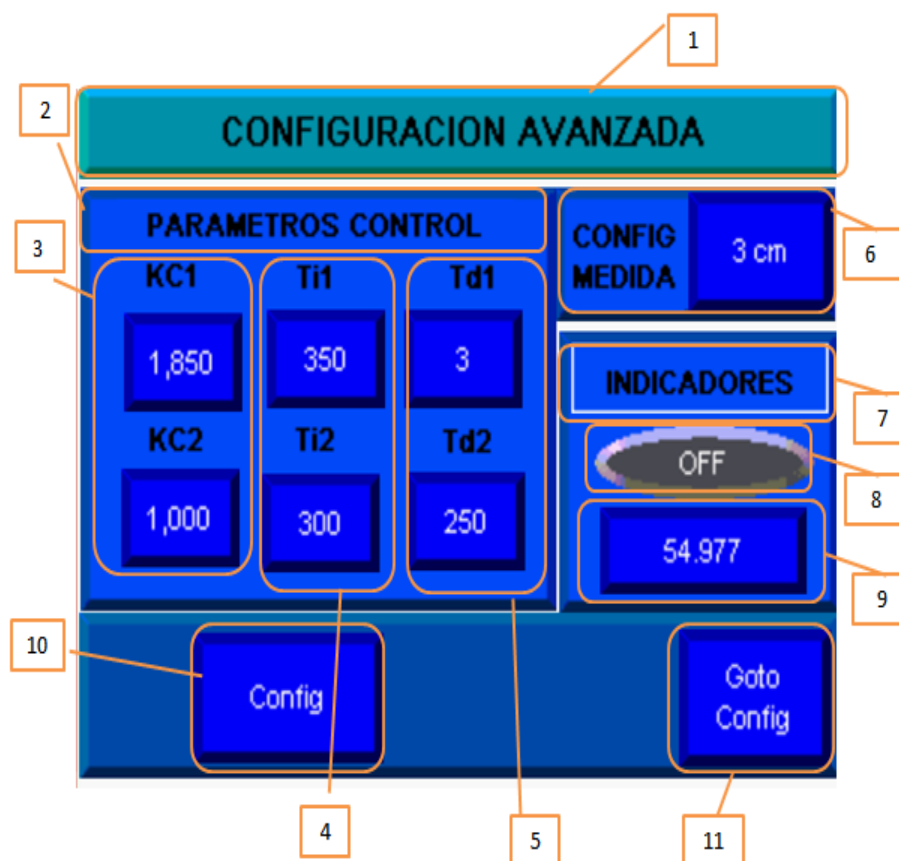


Figura 53 Pantalla de Configuración Avanzada

La descripción de la pantalla está en la tabla 30.

Tabla 30

Descripción de Pantalla Configuración Avanzada

No.	Descripción
1	Título de pantalla "MODO CONFIGURACION AVANZADA"
2	Título de apartado "PARAMETROS DE CONTROL"
3	Ingreso parámetro KC "constante proporcional"
4	Ingreso parámetro Ti "constante integral"
5	Ingreso parámetro Td "constante derivativa"
6	Reinicio de medida
7	Indicadores

CONTINÚA 

8	Indicador de pisón y cuchilla activa
9	Indicador de posición actual en centímetros con decimas de milímetros
10	Botón que lleva a ventana MODO CONFIGURACION
11	Botón que lleva a terminal

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis del sistema Automatizado

Con el sistema implementado, se cuantifica la respuesta cuando se ingresa los valores que se desea que se posicione la escuadra, para esto se presenta los siguientes datos tomados ver tabla 31.

Tabla 31

Datos de Posición

Valor deseado[cm]	Valor actual [cm]	Tiempo [mseg]
65,5	3	0
65,5	5,45	100
65,5	8,68	200
65,5	15,89	300
65,5	25,91	400
65,5	35,02	500
65,5	46,04	600
65,5	57,13	700
65,5	64,56	800
65,5	67,83	900
65,5	68,98	1000
65,5	70,03	1100
65,5	68,38	1200
65,5	67,43	1300
65,5	65,67	1400
65,5	64,63	1500
65,5	64,81	1600
65,5	65,11	1700
65,5	65,48	1800
65,5	65,48	1900
65,5	65,48	2000

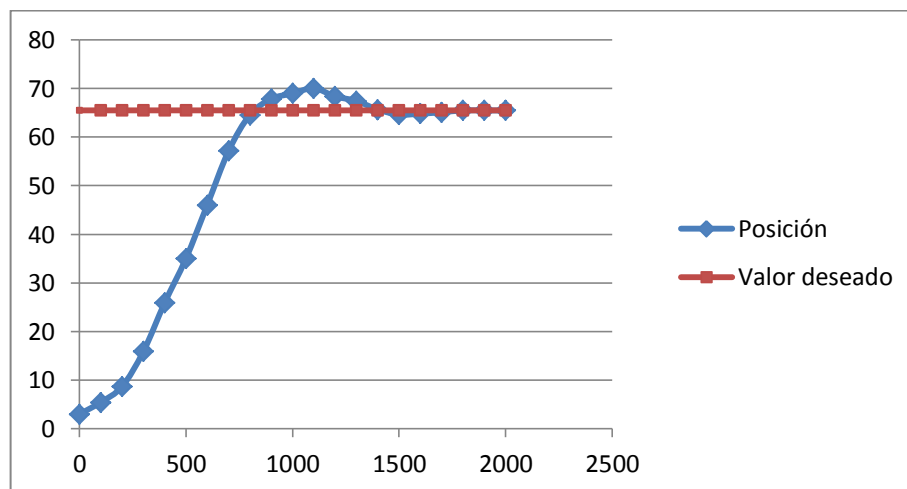


Figura 54 Tiempo de Respuesta

En las diversas pruebas se estima hasta unos 2 segundos aproximadamente tarda el sistema en posicionar la escuadra al lugar deseado, existen una precisión de más 2 décimas de milímetro sobre la medida deseada y de dos por debajo de la misma.

Su exactitud es de un 100% porque siempre llega al valor deseado o muy cercano con dos décimas de milímetro.

El tiempo de establecimiento se parecía de 1,6 segundos hasta llegar al valor deseado, para el porcentaje de sobre elongación máxima se tiene a través de la siguiente formula.

$$\text{Sobre elongación máxima} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

$$\text{Sobre elongación máxima} = \frac{70.03 - 65.5}{65.5} \times 100\% = 6.91 \%$$

Esto sucede porque el sistema mecánico siempre ejerce un arrastre al motor colocado, pero para fines de posicionamiento es muy ventajoso porque el operador con este sistema ahorra mucho tiempo en cortes, siendo así que realizar el corte manualmente de 40 planchas se demoraba hasta

15 minutos, con este sistema el tiempo se ha reducido aproximadamente a 5 minutos ver tabla 32.

Tabla 32

Tiempos de producción con y sin Sistema Control

Actividades	tiempos [segundos]	
	Manual/ Sin Sistema	Manual-Automático/ Con Sistema
colocación en mesa	30	30
posicionamiento de escuadra	1-600	máximo 5
colocación de material contra escuadra	23	23
bajada Pisón	7	7
Bajada Cuchilla	6	6
Total tiempo por corte	67-666	máximo 71

Esta ayuda se traduce en tiempo y dinero que la empresa se ahorra con este sistema, porque así puede procesar más material y cumplir con más clientes.

Para establecer la precisión y la exactitud que tiene el sistema se procede mediante la identificación de la población y su muestra de la siguiente manera:

4.1.1 Población

La población sobre la cual se aplica la investigación y se muestrea son los productos que son cortados por la guillotina en el proceso de corte. Tomando en cuenta que corta en su mayoría planchas de aluminio para imprenta offset y papel bond de 60-74 g/m².

4.1.2 Muestra

En cada corte existen un grupo de 200 hojas las cuales reciben los mismos cortes, se repite el mismo corte en 5 grupos más de 200 hojas teniendo esto se utiliza la siguiente fórmula para saber el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{PQ \times N}{(N - 1) \times \frac{E^2}{k^2} + PQ}$$

$$n = \frac{0.25 \times 1000}{(1000 - 1) \times \frac{0.05^2}{2^2} + 0.25}$$

$$n = 285$$

Por lo tanto en cada grupo se tomará 57 muestras al azar con un intervalo de uniforme de 4 para ser medidas y comparadas.

Utilizando los datos recogidos en la tabla Precisión y exactitud Anexo A TablaA3 en donde se puede apreciar mediante los siguientes gráficos en la figura 56 como es la distribución de los grupos de muestras en toda la población.

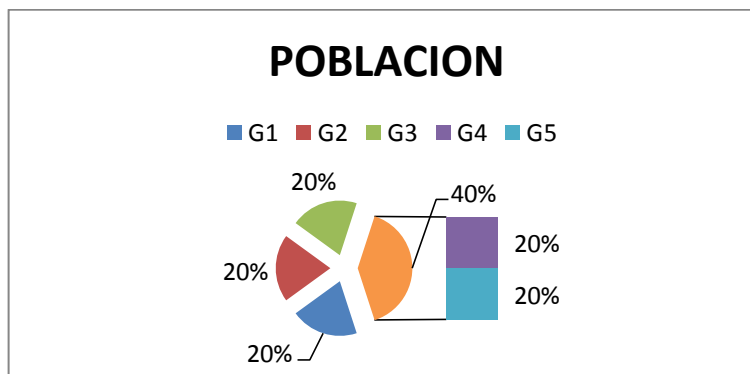


Figura 55 Población y Grupo de Muestras

En la siguiente figura 56 se aprecia gráficamente cuantos segundos se demora por corte en una cantidad de 200 hojas por bajada de la cuchilla.

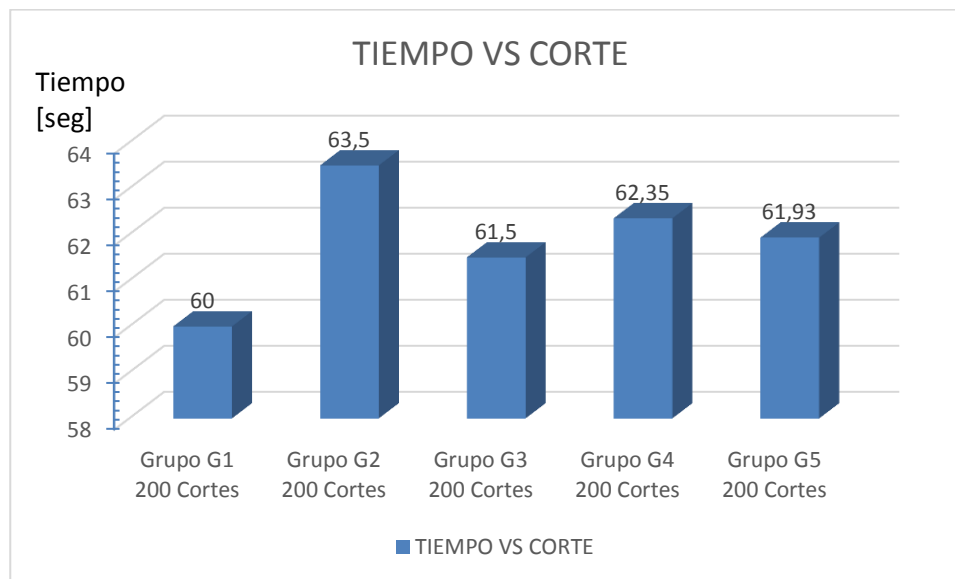


Figura 56 Tiempo Vs Corte

Ahora en esta siguiente figura 57 se muestra de una manera gráfica la precisión del sistema automatizado para dar lo más cerca posible al valor deseado.

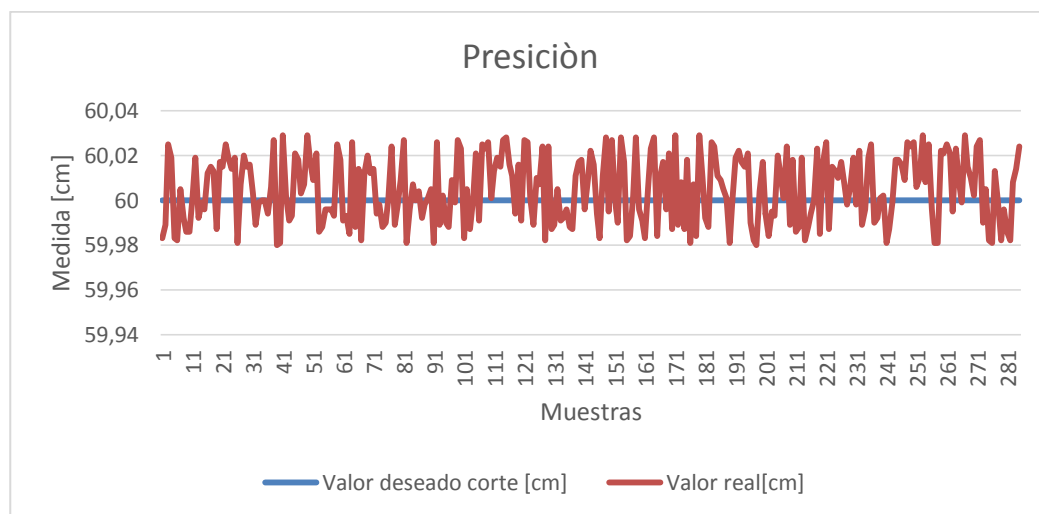


Figura 57 Precisión y Exactitud

Analizando el gráfico se aprecia que existe un límite superior de 0.02 cm del valor deseado y para un límite inferior de 0.02cm menos del valor deseado. Todos los cortes están dentro de este rango para un valor de 60 cm.

Se puede estimar una precisión de $\pm 0,0151$ y una exactitud de 99,64%.

Con respecto en cuanto tiempo se recupera lo invertido por la empresa se puede apreciar en la tabla A13 dando así la figura 59 en donde se aprecia que en aproximadamente en 9 meses se recuperará la inversión en el sistema.

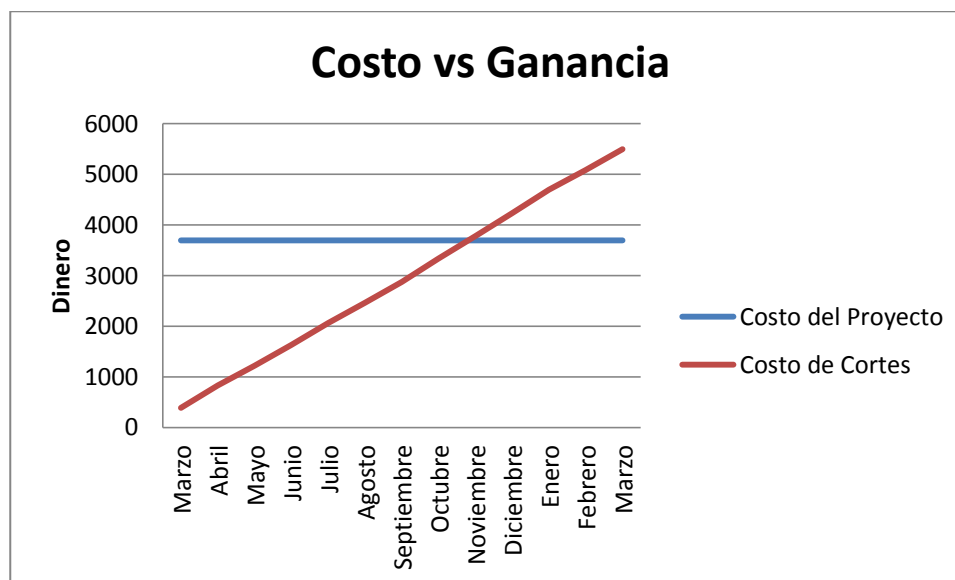


Figura 58 Costo vs Ganancia

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Si existe la fiabilidad para realizar la automatización de maquinaria antigua con las actuales, siendo esta una solución más económica con un costo de 3690.03 dólares ante un producto dedicado de alrededor de 9031.01 dólares, y obteniendo igual beneficio a un costo más bajo que adquirir una nueva que actualmente en el mercado se encuentra a 16000 dólares.

Se ha determinado técnicamente los sensores, actuadores y controlador más adecuados basándose en los instrumentos de investigación para la deducción de los requisitos de la empresa como está usando el método ordinal corregido de criterios ponderados (tabla 9 y tabla 13) para la adquisición de los materiales de construcción; el factor económico es uno de los más relevantes porque rige otros parámetros como calidad de los materiales y fluidez del proyecto. Por lo tanto, los mejores sensores y controlador industrial es de la marca AllanBradley y para actuadores es Baldor y LS porque tienen un costo más económico que otras marcas de 150 dólares y 120 dólares respectivamente, siendo de una muy buena calidad.

Para la interfaz humano máquina se aplica todas las recomendaciones dadas por la guía GEDIS (como el manejo de colores, tamaños y fuentes de texto, plantillas de ventanas entre otros); para realizar una cuantificación de la interfaz para saber si ayuda al operador al manejo del sistema es por medio de una matriz de calificación como consta en Anexo D2, donde se

cuantifica en base de los diez parámetros en el diseño de la interfaz gráfica dando valores satisfactorios de 40.25/50.

Para demostrar que es más productivo el tener este sistema de automatización se realiza mediciones del sistema automatizado vs el manual (tabla 32) dando un mayor ahorro de tiempo en el proceso de corte dando como resultado para el sistema automatizado un tiempo máximo de 5 segundo y siendo manual un tiempo mayor a 600 segundos para llegar a la misma posición deseada, el resultado es procesar más material, aparte demostrando que se recupera la inversión en aproximadamente 9 meses en base a los datos obtenidos de los valores promedio de la empresa (tabla A13).

5.2 Recomendaciones

Se sugiere que antes de utilizar el sistema automatizado se lea previamente los textos informativos, el manual de usuario y mantenimiento que capacita al operador para un mejor manejo del sistema.

Es recomendable el dar periódicamente un mantenimiento preventivo para obtener mejores resultados del sistema automatizado; es indispensable hacer un cambio de cuchilla cada 100 cortes cuando es planchas y 500 cuando se corta materiales más blandos como son papel y cartón para no perder el filo, lo que se traduce en un corte con muy poca calidad.

Este sistema automatizado se puede aplicar en otro tipo de maquinaria que requiera realizar cortes de precisión o realizar posicionamientos en la industria para producir productos con mayor calidad.

El trabajo se difunda por un medio científico o comercial para que obtengan un mayor beneficio la industria ecuatoriana que se dedica al corte de papel.

6 Bibliografía

- Ponsa, P., & Granollers, A. (2002). *Diseño de Pantalla MIPO Máster en Interacción Persona Ordenador*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- C. Kuo, B. (1996). *Sistemas de Control Automático*. Mexico: Edimsa. S.A.
- grafin. (2012). *maquinas-accesorios-para-imprentasficha*. Obtenido de grafin: www.grafin.com/
- heidelberg. (s.f.). *polar115*. Obtenido de heidelberg: <http://www.heidelberg.com.co/>
- Lab-Volt (Quebec) Ltda. (2001). *Sensores Fluídos Manual del Estudiante*. Canadá: Lab-Volt Ltda.
- Mauricio, A. M. (2001). *APUNTES DE CONTROL PID*. Madrid.
- Núñez Enríquez, F. (. de . de 2007). Control de movimiento empleando Labview, un enfoque didáctico. *Control de movimiento empleando Labview, un enfoque didáctico*. Puebla, Veracruz, Mexico: Recuperada de la base de datos de la Universidad de las Americas.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Rockwell Automation, Inc. (2014). *Connected Components Workbench*. Rockwell Automation, Inc.
- Rockwell Automation, Inc. (2014). *PanelView Component HMI Terminals*. Rockwell Automation, Inc.
- Rockwellautomation. (2010). Micrologix Una Familia de Controladores para toda Aplicacion y Repuesto. *Micrologix Una Familia de Controladores para toda Aplicacion y Repuesto*, 1-16.

Solares, R. (2005). *Manual de Cortador con Guillotina*. (A. M. Sampaolesi, Ed.) Buenos

Aires: Banco Interoamericano de Desarrollo.

Tomás, P. A. (2011). *Catalogo Riesgos Laborales Máquinas de Imprenta*. Madrid.

West Instruments Mexico.S.A. (2000). *Manual de Aplicación de Encoders* . Mexico:

West Instruments Mexico.S.A.