

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE
VIDRIO CONTROLADA POR PLC SIEMENS S7-200”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADO POR

BACH. VICKER PAUL SIVINCHA MITMA

ASESOR: DR. ING. FREEDY SOTELO VALER

LIMA – PERÚ

2016

Dedico el esfuerzo de mi trabajo, a quienes han fortalecido mi espíritu, mente y cuerpo cada día de mi vida regalándome una alegría demostrándome que tenemos esta oportunidad para dar todo de nosotros y demostrar que lo más importante es hacer lo que tú realmente quieres hacer. Las personas más importantes de mi vida, mi increíble familia. Amén.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Ricardo Palma por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Dr. Elmer Córdova Zapata por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

De igual manera agradecer a mi primer profesor de Investigación y de Tesis de Grado, Mg. Ing. Luis José Velásquez Machuca, que en paz descanse, por sus críticas constructivas y por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis.

Luego a mi segundo y actual profesor de Investigación y de Tesis de Grado, Dr. Ing. Freedy Sotelo Valer por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida y como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

Y por último a mis jefes de trabajo Mg. Ing. Ricardo John Palomares Orihuela, Mg. Ing. Robert Castro Salguero y Mg. Ing. Javier Rivas León, quienes son como unos padres para mí, los cuales me han motivado durante mi formación profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que les encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.1 Problema general	5
1.1.2 Problemas específicos.....	5
1.2 Objetivos.....	5
1.1.3 Objetivo general.....	5
1.1.4 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación	6
1.4 Estructura de la tesis	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	9
2.2 Óptica de la investigación	12
2.2.1 Hipótesis general	12
2.2.2 Hipótesis específicas	12
2.3 Selección de variables	12
2.3.1 Variable dependiente.....	12
2.3.2 Variable independiente	12
2.4 Generalidades	13
2.5 Bases Teóricas	15
2.5.1 Máquina cortadora de vidrio	15
2.5.1.1 El vidrio templado.....	15
2.5.1.2 Los cortadores láseres:.....	16
2.5.1.3 La cortadora de vidrio:	19

2.5.1.4	Software de diseño mecánico:	19
2.5.2	Automatización	25
2.5.2.1	Objetivos de la automatización	26
2.5.2.2	Tipos de Automatización.....	27
2.5.2.3	Razones para la automatización	28
2.5.2.4	Softwares de automatización	29
2.5.3	Control mediante PLC	31
2.5.3.1	El relé o relevador:	31
2.5.3.2	Ventajas del PLC:	32
2.5.3.3	Programación del PLC:	33
2.5.3.4	Diagrama de rieles:	34
2.5.3.5	Selección del PLC.....	37
2.5.3.6	Desventajas de otros sistemas de control.....	39
CAPÍTULO III	.....	41
DISEÑO DEL SISTEMA	.....	41
3.1	Diseño de la máquina cortadora de vidrio (M.C.V.)	41
3.1.1	Diseño de la parte mecánica de la M.C.V.....	42
3.1.2	Diseño de la parte electrónica de la M.C.V.....	70
3.1.3	Diseño de la parte eléctrica de la M.C.V.....	76
3.1.4	Simulación de la M.C.V.	78
3.1.5	Desarrollo de la parte de control de la M.C.V.	84
3.1.5.1	Desarrollo del modelo de control.....	84
3.1.5.2	Desarrollo de los programas	86
3.2	Análisis de costos	97
CAPÍTULO IV	.....	102
PRUEBAS Y RESULTADOS	.....	102
4.1	Pruebas	102
4.1.1	Prueba y resultado 1.....	102
4.1.2	Prueba y resultado 2.....	104
4.2	Resultados del software.....	105
CONCLUSIONES	.....	112

RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	116
ANEXOS	120
Anexo 1: Plano del motor	121
Anexo 2: Plano del cabezal láser	121
Anexo 3: Plano del ensamblaje 1	123
Anexo 4: Plano del ensamblaje 2	124
Anexo 5: Simbología ISA.....	127
Anexo 6: Representación ISA.....	129
Anexo 7: Diagrama esquemático ISA.....	130

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1 Descripción del proyecto.	3
Figura 1.2 Imperio de Cristal y producción en china.	4
Figura 2.1 Principales empresas importadoras de vidrio flotado	13
Figura 2.2 Productos que ofrece TURBOMAS-TECNOCAT	15
Figura 2.3 Vidrio templado al romperse.	16
Figura 2.4 Posición del cortador láser	17
Figura 2.5 Corte térmico	18
Figura 2.6 Componentes de un láser gráfico	18
Figura 2.7 Software de modelización y de automatización	20
Figura 2.8 Interfaz del FeatureManager	21
Figura 2.9 Relaciones de posición	22
Figura 2.10 Escala de tiempo	24
Figura 2.11 Barra de tiempo	24
Figura 2.12 Leyenda de la barra de cambio	25
Figura 2.13 Tipos de motor	26
Figura 2.14 Diagrama ladder	36
Figura 2.15 El PLC siemens S7-200	37
Figura 3.1 Modelado de un soporte en SolidWorks.	42
Figura 3.2 Planos de trabajo de la máquina cortadora de vidrio.	43
Figura 3.3 Diagrama de Cuerpo Libre del Ensamblaje I.	44
Figura 3.4 Diagrama de Movimiento de la M.C.V.	45
Figura 3.5 Sistema de Movimiento de la Base de la M.C.V.	45
Figura 3.6 Control del movimiento por Arduino.	46
Figura 3.7 Ubicación de los Sensores de ultrasonido de la M.C.V.	47
Figura 3.8 Carga que resiste la Base de la M.C.V.	48
Figura 3.9 Porcentaje de compresibilidad por efecto de la temperatura.	50
Figura 3.10 Comparación de la acción de diferentes soluciones ácidas.	51
Figura 3.11 Vista Superior de la máquina cortadora de vidrio.	53
Figura 3.12 Vista Frontal de la máquina cortadora de vidrio.	53

Figura 3.13	Vista lateral de la máquina cortadora de vidrio.	54
Figura 3.14	Vista isométrica de la M.C.V.	55
Figura 3.15	Vista isométrica del ensamblaje 1 de la M.C.V.	56
Figura 3.16	Vista isométrica del ensamblaje 2 de la M.C.V.	57
Figura 3.17	Vista isométrica del cabezal de la cortadora	57
Figura 3.18	El motor DC de la M.C.V ensamblado en SolidWorks.	58
Figura 3.19	Vista isométrica del piñón de la M.C.V.	59
Figura 3.20	Vista superior del piñón de la M.C.V.	59
Figura 3.21	Vista frontal del piñón de la M.C.V.	59
Figura 3.22	Vista inferior del piñón de la M.C.V.	60
Figura 3.23	Vista isométrica del soporte fijo del piñón de la M.C.V.	60
Figura 3.24	Vista superior del soporte fijo del Piñón de la M.C.V.	61
Figura 3.25	Vista Lateral del soporte fijo del Piñón de la M.C.V.	61
Figura 3.26	Vista isométrica de la Faja de la M.C.V.	62
Figura 3.27	Vistas Básicas de la Faja de la M.C.V.	62
Figura 3.28	Circuito de control del giro del motor con puente H.	70
Figura 3.29	Entradas y Polaridades A y B para el control del motor.	71
Figura 3.30	Especificaciones de algunas de las placas de Arduino.	71
Figura 3.31	Especificaciones de algunas de las placas de Arduino.	72
Figura 3.32	Conexiones del circuito de control de giro del motor al ARDUINO.	72
Figura 3.33	Circuito de control de giro con 2 motores al ARDUINO	73
Figura 3.34	Diagrama de escalera para el control de giro de un motor DC.	74
Figura 3.35	Diagrama general de Control.	74
Figura 3.36	Transportadora de objetos.	74
Figura 3.37	Circuito de control del arranque/paro simple de un motor eléctrico.	75
Figura 3.38	Circuito de control de 2 motores con arranque con secuencia.	76
Figura 3.39	Diagrama de flujo de un arranque/paro simple de un motor.	76
Figura 3.40	Lógica de escalera de un arranque/paro simple de un motor.	77

Figura 3.41	Modelado del motor en Simulink.	79
Figura 3.42	Gráfica de la salida de la velocidad angular	80
Figura 3.43	Gráfica de la salida de la velocidad angular	80
Figura 3.44	Tabla de las variables utilizadas	81
Figura 3.45	SCADA del sistema de control de la máquina cortadora de vidrio	82
Figura 3.46	Lenguaje ladder de la programación de la máquina cortadora de vidrio	83
Figura 3.47	Diagrama del sistema de control del motor 1	84
Figura 3.48	Diagrama del sistema de control del motor 2	85
Figura 3.49	Diagrama del control integrado	85
Figura 3.50	Data sheet del integrado L293D	88
Figura 3.51	Conexiones de los motores al integrado L293D	88
Figura 3.52	Data sheet del sensor de ultrasonido con Arduino	93
Figura 3.53	Gráfica de dispersión entre el costo y la ganancia.	99
Figura 3.54	Gráfica de líneas entre el costo y la ganancia.	99
Figura 3.55	Variación del precio de aluminio (06/2011 a (06/2016)	100
Figura 4.1	Etapa 1 del movimiento vertical de la M.C.V.	100
Figura 4.2	Etapa 2 del movimiento vertical de la M.C.V.	101
Figura 4.3	Etapa final del movimiento vertical de la M.C.V.	101
Figura 4.4	Etapa 1 del movimiento horizontal de la M.C.V.	102
Figura 4.5	Etapa 2 del movimiento horizontal de la M.C.V.	102
Figura 4.6	Etapa final del movimiento vertical de la M.C.V.	103
Figura 4.7	Compilación del programa Arduino	104
Figura 4.8	Compilación del circuito en el software de Proteus	104
Figura 4.9	Programa PLC y compilación del mismo en Microwin	105
Figura 4.10	El diagrama KOP y AWL del programa PLC en S7-200 Simulator.	106
Figura 4.11	Estado inicial del PLC Siemens S7-200 virtual.	107
Figura 4.12	Ejecución de la entrada 1 del PLC siemens S7-200 virtual	108
Figura 4.13	Respuesta de la salida 1 del PLC siemens S7-200 virtual	108
Figura 4.14	Ejecución de la entrada 2 del PLC siemens S7-200 virtual	109
Figura 4.15	Respuesta de la salida 2 del PLC siemens S7-200 virtual.	109

LISTA DE TABLAS

		<i>Pág.</i>
Tabla 2.1	Elementos básicos y sus instrucciones.	35
Tabla 3.1	Peso aproximado de las láminas de vidrio por m ²	47
Tabla 3.2	Diseños comerciales de vidrio.	49
Tabla 3.3	Medidas y precios comerciales de las láminas de vidrio	49
Tabla 3.4	Valores de Volúmenes y Masas de los Componentes de M.C.V.	66
Tabla 3.5	Tablas de las variables utilizadas.	81
Tabla 3.6	Presupuesto de la implementación de la máquina cortadora de vidrio.	96
Tabla 3.7	Costos del usuario de la máquina cortadora de vidrio.	97
Tabla 3.8	Costo de inversión de cortadoras eléctricas.	97
Tabla 3.9	Ganancias estimadas para la producción en serie de la máquina cortadora de vidrio	98
Tabla 3.10	Muestra de 5 años de la relación entre el costo y la ganancia de la implementación de la máquina cortadora de vidrio	98

RESUMEN

En la presente tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico titulado *Diseño y Simulación de una máquina cortadora de vidrio controlada por PLC ST-200*, se diseñó un prototipo de máquina cortadora de vidrio utilizando SolidWorks así como, se simuló el sistema de control mediante PLC.

La tesis está dividida en cinco capítulos: los dos primeros están relacionados con el desarrollo de la problemática y el fundamento teórico, y los dos restantes están dedicados al estudio, análisis económico y resultados del proyecto en sí.

En los capítulos referentes al diseño del proyecto, se ha dividido en 5 secciones importantes: El desarrollo de la parte mecánica, el desarrollo de la parte electrónica, el desarrollo de la parte eléctrica, el diseño del sistema de control y el de la parte de simulación, englobando así la sinergia de la Ingeniería Mecatrónica. Así mismo, se hace un análisis económico que se divide en tres factores fundamentales: Análisis de costo, análisis de tiempo y análisis de eficiencia.

Palabras clave:

PLC; SCADA; Control; Mecánica; Electrónica

ABSTRACT

Keywords:

PLC; SCADA; Control; Mechanics; Electronics

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El principal beneficio de la presente tesis es que se ahorrará tiempo en el corte de vidrio, a través de un sistema de control por PLC, el SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) así como de un diseño mecánico óptimo del equipo utilizando el software de SolidWorks.

Estos programas permiten el diseño, simulación y control de la máquina cortadora de vidrio. A continuación, se presenta un Diagrama de las etapas de desarrollo del proyecto, tal como se muestra en la figura 1.1:

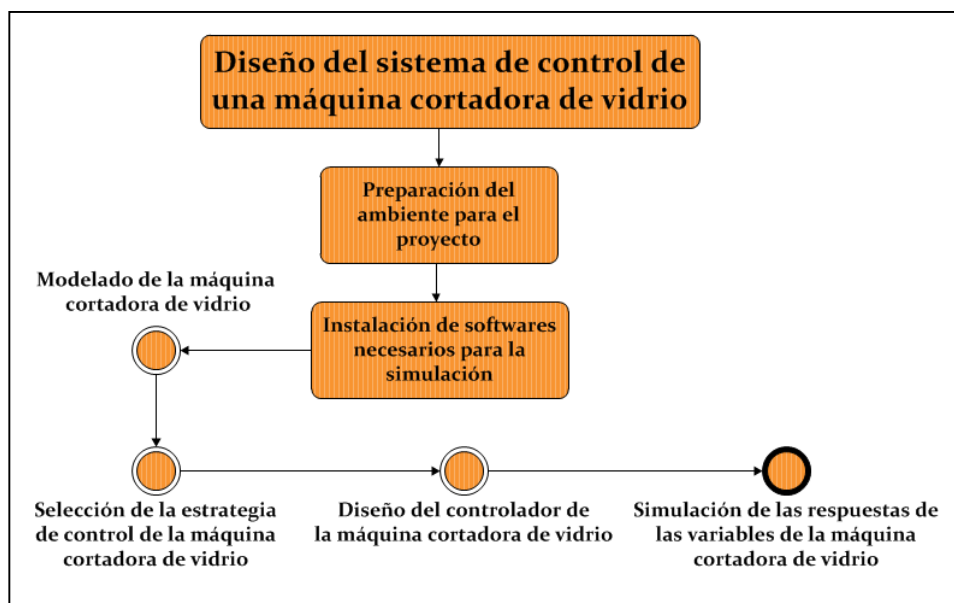


Figura 1.1 Descripción del proyecto
Fuente: Elaboración propia en Visio (2015)

Éste muestra la descripción de las etapas de desarrollo del proyecto desde la preparación de materiales hasta la simulación de las respuestas de las variables.

1.1 Planteamiento del problema

A continuación, se explica la situación actual de la producción de vidrio en el Perú y en el Mundo.

En el Perú

El Perú no fabrica vidrio porque esta actividad requiere de tecnología de punta, que demanda alta inversión, con procesos de alta complejidad y de uso energético intensivo debido a que opera durante las 24 horas del día sin interrupciones. Por ello es que somos un país netamente importador de vidrio.

En el Mundo

China es la potencia mundial tanto en la demanda como en la producción de vidrio, representa el 45% de la producción mundial y consume todo lo que produce; aunque el vidrio que produce es de baja calidad.

En la figura 1.2 muestra los niveles de producción mundial de vidrio.



Figura 1.2 Imperio de cristal y producción en China

Fuente: Avizora, Industria del vidrio en china (2015)

Como se aprecia, China tiene más demanda de vidrio que los demás países, eso significa que, para satisfacer toda la demanda de vidrio, se debe

producir la misma cantidad de vidrio, también se aprecia que a medida que van pasando los años, el crecimiento subsidiado también aumenta.

El rápido crecimiento de los sectores de construcción, de automóviles y de embarcaciones ha creado una creciente demanda mundial por el vidrio, donde los costos de transporte son elevados debido a que las placas de vidrio requieren especial cuidado para evitar daños y quebraduras. [1]

1.1.1 Problema general

¿Será posible diseñar una máquina cortadora de vidrio y controlarla por PLC?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se modela mecánicamente una máquina cortadora de vidrio?
- ¿Cómo se desarrolla la parte eléctrica de una máquina cortadora de vidrio?
- ¿Cómo se desarrolla la parte electrónica de máquina cortadora de vidrio?
- ¿Cómo se simula una máquina cortadora de vidrio?
- ¿Cómo se desarrolla el control por PLC siemens S7-200 de una máquina cortadora de vidrio?

1.2 Objetivos

1.1.3 Objetivo general

Diseñar y simular una maquina cortadora de vidrio controlada por PLC Siemens S7-200.

1.1.4 Objetivos específicos

- Desarrollar la parte mecánica de una máquina cortadora de vidrio.
- Desarrollar la parte eléctrica de una máquina cortadora de vidrio.
- Desarrollar la parte electrónica de máquina cortadora de vidrio
- Simular una máquina cortadora de vidrio
- Desarrollar el control por PLC siemens S7-200 de una máquina cortadora de vidrio.

1.3 Justificación

Lo que se trata de realizar en este proyecto es facilitar el trabajo de muchas vidrierías que utilizan métodos tradicionales de corte de vidrio. Con este proyecto se pretende ahorrar más tiempo a la hora del corte de vidrio, además intervendrán diversos factores como el sistema de control por PLC, el SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) del proceso de corte y el diseño mecánico del equipo utilizando el software de SolidWorks.

Al finalizar el proyecto se economizará los costos de producción, y, si bien al inicio se invertirá mayor cantidad de dinero al implementar el equipamiento, en el transcurso de un determinado tiempo se recuperará todo lo que se ha invertido

1.4 Estructura de la tesis

La tesis se encuentra dividida en 6 capítulos, conclusiones, recomendaciones, las Referencias bibliográficas y los anexos. La estructura de la tesis responde al diseño del sistema de control de la máquina cortadora de vidrio utilizando el SCADA y el PLC. A continuación, se describe la composición de los seis capítulos y un breve resumen de los mismos:

En el capítulo I se presenta una introducción general que explica en que consiste el proyecto con la presentación del planteamiento del problema general, problema específico, objetivo general, objetivo específico, la justificación y la estructura de la tesis.

En el capítulo II se expone los antecedentes y conceptos teóricos que enmarcan la investigación con la presentación de las variables de la investigación. Así como se hace referencia a las propiedades del sistema de control de la máquina cortadora de vidrio que se va a simular, sus ventajas y su funcionalidad. Por otro lado, se estudia el marco teórico del PLC y sus aplicaciones a la industria.

En el capítulo III se describe la relación y la operacionalización entre las variables de la investigación, así como su tipo, diseño, simulación y etapas.

En el capítulo IV de la tesis se describe las pruebas y los resultados obtenidos durante la investigación.

Finalmente, se presenta las conclusiones, recomendaciones de la tesis y las futuras líneas de investigación que se pueden generar con este proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La evolución de la tecnología de las máquinas herramientas ha estado marcada por grandes avances en la capacidad de control, particularmente en los últimos 30 años. La configuración básica de muchas máquinas herramientas (tornos, por ejemplo) no ha cambiado en muchos años; pero, la llegada del control numérico, control numérico computacional y sus avances relacionados han traído importantes cambios y efectos en los métodos de manufactura y sus costos.

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

Pérez Espinoza, Alonso Ricardo (2015). Sustenta la tesis titulada: Diseño de un cortador láser CNC de CO₂ para acrílicos y madera, en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e Ingeniería. LIMA-PERÚ. [4]

El autor plantea como objetivo diseñar un cortador láser CNC de bajo costo asequible para los usuarios de pequeños negocios y la sociedad. En cuanto a la electrónica y el control, el autor selecciona los sensores y actuadores, diseña los circuitos para el control de estos y procesa los datos de entrada que especifique el usuario. En cuanto a la mecánica, el autor tiene un sistema de movimiento en el plano XY, calcula los esfuerzos y momentos a los cuales está sometido, dimensiona y finalmente elige materiales.

Figuroa Vilcarromero, Joel Jesús (2014). Sustenta la tesis titulada: Diseño de una máquina abonadora para distribuir

fertilizante inorgánico en terrenos de cultivo de bajo costo. En la Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería. LIMA-PERÚ. [5]

El autor busca mejorar el proceso de abonado en los terrenos para sembrío de caña de azúcar desarrollando el diseño de un prototipo de máquina abonadora que, según el autor, genera un ahorro económico significativo y mejora la calidad de abonado.

En cuanto a la electrónica y el control, el autor selecciona el PLC S7-1200 y realiza un panel de supervisión SCADA. En cuanto a la mecánica, el autor implementa los materiales y realiza los planos mecánicos.

Chipoco Lozada, André (2015). Sustenta la tesis titulada: Diseño del sistema Mecatrónico de tostadora para restaurante. En la Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. LIMA-PERÚ. [6]

El autor desarrolla el diseño de una tostadora que permita una producción continua para un restaurante con 2 fines: que no requiera de atención constante y que las tostadas se entreguen en una presentación lista para servirse. El autor analiza la problemática, los requisitos del diseño, el detalle de componentes, el presupuesto estimado y finalmente las conclusiones de su desarrollo y propuestas de mejora.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Pérez Cazares, Mariel; Pérez Cazares, Susana y Salas Cortez, Beatriz (2012). Sustentan la tesina titulada: Control de una banda transportadora con PLC SIEMENS S7-200. En el Instituto politécnico Nacional. MEXICO. [7]

Los autores plantean como objetivo implementar un prototipo a escala de banda transportadora, con una combinación de conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica y computación.

Ledesma Montes, René (2012). Sustenta la tesis titulada: Máquina selladora controlada por PLC. En la Universidad Autónoma de Zacatecas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. MEXICO. [8]

El autor realiza el diseño de una máquina selladora de bolsas que es utilizada para envasar tipos de productos líquidos, otro objetivo del autor es de controlar la temperatura del hilo del sellado. Para tener una temperatura firme en el sellado, el autor construye un transformador de corriente alterna para generar una intensidad constante al hilo. Y finalmente, el autor une los procesos mediante el PLC para efectuar la tarea completa del sellado.

Díaz Esteva, Domingo Alberto (2006). Sustenta la tesis titulada: Automatización de Etiquetadora de botellas Krones bajo PLC SIEMENS. En la Universidad Simón Bolívar. Coordinación de Ingeniería Electrónica. SARTENEJAS-VENEZUELA. [9]

El autor plantea la automatización y restitución de las funcionalidades originales de la etiquetadora de botellas de la línea de producción, de marca Krones, modelo StarMatic utilizando un PLC Siemens de la serie S7-300. El autor comienza con los planos eléctricos de la máquina, luego identifica las entradas y salidas del sistema a controlar, así como también sus lazos de control, además el autor desarrolla el software bajo la plataforma de Siemens STEP 7 y finalmente el autor habilita las funciones programadas y lo pone en acción.

Paredes Ordoñez, Michel Leonardo (2014). Sustenta la tesis titulada: Migración del PLC Siemens SIMATIC S5-100U a SIMATIC S7-300 con integración de Touch Pannel, para operación de equipo pre-estucador de máquina papelera CMPC Planta Valdivia. En la Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias e Ingeniería. VALDIVIA-CHILE. [10]

El autor tiene como objetivo principal, el diseño del proyecto de migración de tecnología PLC Siemens SIMATIC S5 a SIMATIC S7 para el equipo Pre-Estucador de la Máquina Papelera CMPC Planta Valdivia integrando un panel Multitouch para su operación en terreno. El autor comienza su desarrollo con una descripción de la tecnología PLC de Siemens, presentando algo de su historia, arquitectura, funcionamiento; para luego dar paso a las características de las familias PLC SIMATIC S5 y S7 de Siemens.

El autor finalmente presenta en base a los datos entregados, los elementos del hardware que se decidieron utilizar para realizar la migración. Luego el autor da paso al proceso de migración, mostrando las diferencias graficas entre las herramientas de programación Step 5 para los PLC S5 y Step 7 para los PLC S7 de Siemens. Además, el autor muestra el proceso de creación de la pantalla Multitouch que reemplaza el panel de operación remoto que utiliza el operador para el proceso de Pre-Estucado de la Maquina Papelera.

Finalmente, el autor entrega las conclusiones rescatadas del proceso de migración.

2.2 Óptica de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Es posible el diseño y simulación de una maquina cortadora de vidrio controlada por PLC Siemens S7-200 de forma exitosa.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Es posible desarrollar la parte mecánica de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa
- Es posible desarrollar la parte eléctrica de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa
- Es posible desarrollar la parte electrónica de máquina cortadora de vidrio de forma exitosa
- Es posible simular una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa
- Es posible desarrollar el control por PLC siemens S7-200 de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

2.3 Selección de variables

2.3.1 Variable dependiente

Diseño y simulación.

2.3.2 Variable independiente

Máquina cortadora de vidrio controlada por PLC.

2.4 Generalidades

En esta sección se va a hablar sobre el trabajo práctico de este diseño en el Perú y en el Mundo.

En el Perú

La industria del vidrio se enfrenta a dos retos preponderantes:

- Empresas sofisticadas que demandan una alta inversión.
- La tecnología de punta

En la Figura 2.1 se muestra un Diagrama de barras que expresa la cantidad de vidrio flotado importado de las empresas peruanas para el extranjero en miles de láminas. [21]



Figura 2.1 Principales empresas importadoras de vidrio flotado

Fuente: The top report. (2010)

En el Mundo

a. Empresa “TUROMAS-TECNOCAT”

La empresa española “TUROMAS-TECNOCAT” ha estado presente en el mercado desde 1985 y es uno de los principales fabricantes mundiales de máquinas para el corte, manipulación, carga y almacenamiento de vidrio plano.

Los productos que ofrece TUROMAS-TECNOCAT se lanzaron al mercado a través de dos marcas registradas.

i. TUROMAS

Mesas y líneas de corte automáticas para vidrio monolítico y laminado.

ii. TECNOCAT

Cargadores automáticos, equipos para el almacenamiento y manipulación de vidrio plano.

En la Figura 3.2 se muestra la variedad de equipos industriales para el procesamiento de vidrio de la empresa española “TUROMAS-TECNOCAT” [22]



Figura 2.2 Productos que ofrece la empresa “Turbomas-Tecnocat”
Fuente: Proporción 3, S.A. (2016)

2.5 Bases Teóricas

2.5.1 Máquina cortadora de vidrio

2.5.1.1 El vidrio templado.

El vidrio templado es un tipo de vidrio de seguridad, procesados por tratamientos térmicos o químicos, para aumentar su resistencia en comparación con el vidrio normal, esto se logra poniendo las superficies exteriores en compresión y las superficies internas en tensión. Tales tensiones hacen que el vidrio, cuando se rompe, se desmenuce en trozos pequeños granulares en lugar de astillarse en fragmentos dentados. Los trozos granulares tienen menos probabilidades de causar lesiones. [11]

En la figura 2.3 se aprecia el tipo de vidrio que se utiliza más



comúnmente para la producción industrial por su mayor seguridad.

Figura 2.3 Vidrio templado al romperse
Fuente: Academic. El vidrio templado (2015)

2.5.1.2 Los cortadores láseres:

Muchos productos industriales y comerciales requieren piezas con diseños intrincados que serían imposibles de fabricar mediante un proceso normal con torno y maquinaria. Los cortadores de láser pueden hacer cortes muy precisos sin doblar ni destruir el material cercano, permitiendo así la producción de diseños muy elaborados. [12]

Corte con láser en metales

El corte con láser es una técnica empleada para cortar piezas de chapa caracterizada en que su fuente de energía es un láser que concentra luz en la superficie de trabajo. Para poder evacuar el material cortado es necesario el aporte de un gas a presión como por ejemplo oxígeno, nitrógeno o argón. Es especialmente adecuado para el corte previo y para el recorte de material sobrante pudiendo desarrollar contornos complicados en las piezas. Entre las principales ventajas de este tipo de fabricación de piezas se puede mencionar que no es necesario disponer de matrices de corte y permite efectuar ajustes de silueta. También entre sus ventajas se puede mencionar que el accionamiento es robotizado para poder mantener constante la distancia entre el electrodo y la superficie exterior de la pieza. En la figura 2.4 se muestra la posición inicial del cortador.

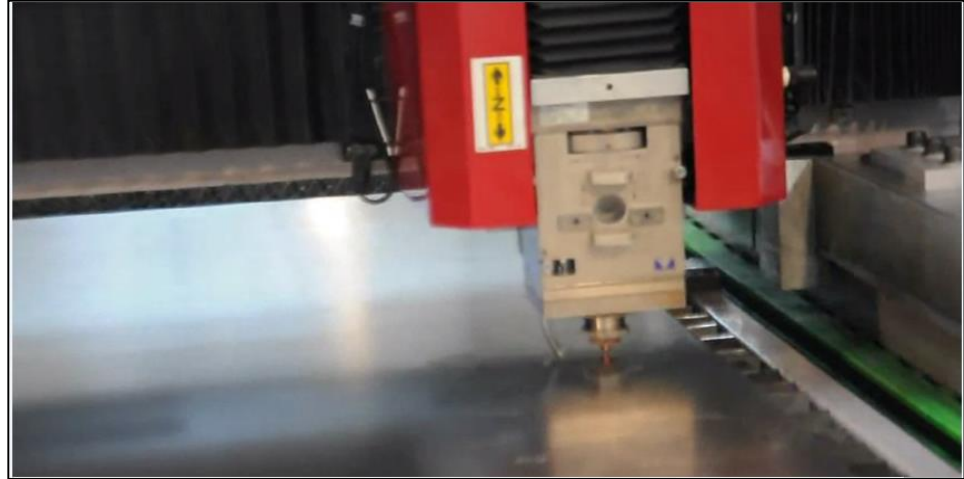


Figura 2.4 Posición del cortador láser.

Fuente: «Portlaser - Maquinas láser: Las ventajas del láser en la Industria». (2015)

Para destacar como puntos desfavorables se puede mencionar que este procedimiento requiere una alta inversión en maquinaria y cuanto más conductor del calor sea el material, mayor dificultad habrá para cortar. El láser afecta térmicamente al metal pero si la graduación es la correcta no deja rebaba. Las piezas a trabajar se prefieren opacas y no pulidas porque reflejan menos. Los espesores más habituales varían entre los 0,5 y 6 mm para acero y aluminio. Los potencias más habituales para este método oscilan entre 3000 y 5000 W.

El corte por haz láser (LBC) es un proceso de corte térmico que utiliza fundición o vaporización altamente localizada para cortar el metal con el calor de un haz de luz coherente, generalmente con la asistencia de un gas de alta presión. Se utiliza un gas de asistencia para eliminar los materiales fundidos y volatilizadas de la trayectoria del rayo láser. Con el proceso de rayo láser pueden cortarse materiales metálicos y no metálicos. El haz de salida con frecuencia se pulsa a potencias máximas muy altas en el proceso de corte, aumentando la velocidad de propagación de la operación de corte. En la figura 2.5 se muestra el corte térmico.

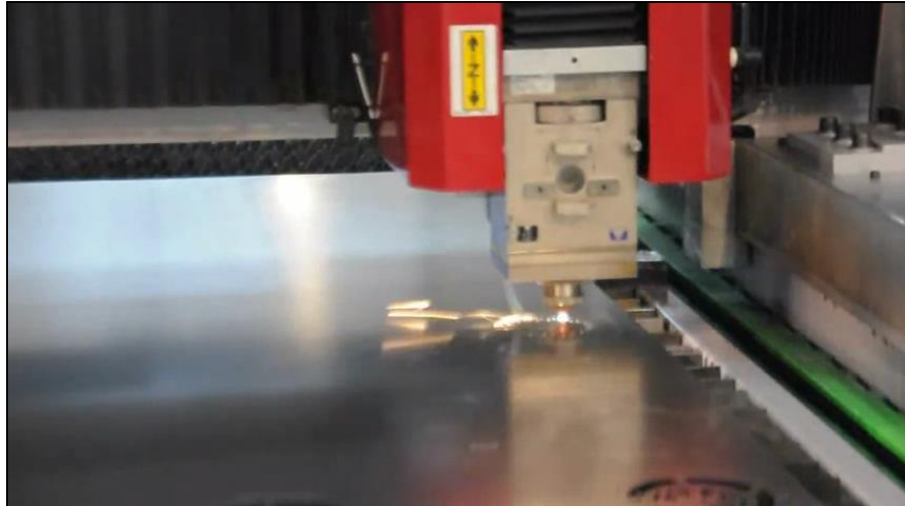


Figura 2.5 Corte térmico

Fuente: Academic. El vidrio templado (2015)

Los dos tipos más comunes de láser industrial son dióxido de carbono (CO₂) y granate de Aluminio de itrio dopado con neodimio (Nd:YAG). Un láser CO₂ utiliza un medio gaseoso para producir la acción láser mientras que el Nd:YAG utiliza un material cristalino. El láser CO₂ está disponible comercialmente en potencias de hasta 6kW. En la figura 2.6 se muestran los componentes del láser gráfico.

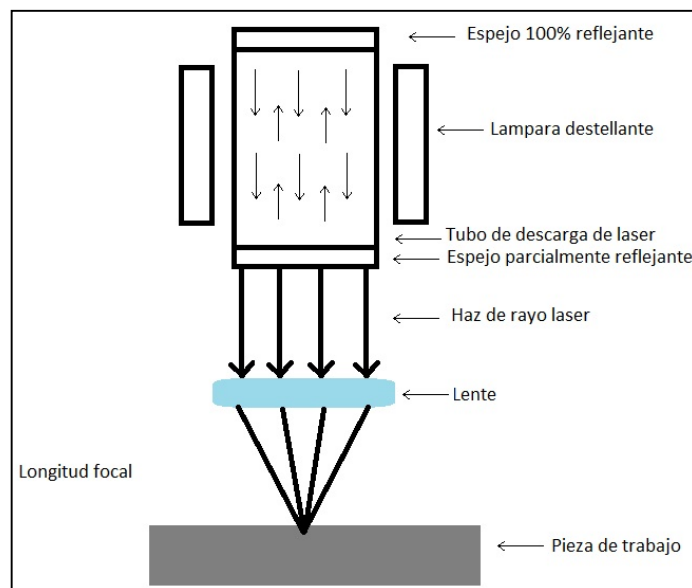


Figura 2.6 Componentes del láser gráfico

Fuente: Academic. El vidrio templado (2015)

El proceso es flexible, fácil de automatizar y ofrece altas velocidades de corte con excelente calidad, pues el láser tiene la capacidad de operar perfiles de corte muy complejos y con radios de curvatura muy pequeños. Además, es una tecnología limpia, no contamina ni utiliza sustancias químicas.¹ Los costos del equipo son altos pero están bajando a medida que la tecnología de resonadores es menos costosa.

2.5.1.3 La cortadora de vidrio:

Cortador *fletcher* también llamado "Cortador tipo *fletcher* es una herramienta utilizada por un vidriero para realizar cortes precisos en el vidrio plano. Generalmente lo usa el personal que construye casas y edificios, para cortar las medidas exactas de los vidrios de las puertas y ventanas. Sin embargo también es utilizado por vidrieros artesanos o cuando se necesita cortar vidrio para alguna otra tarea. Con él se corta toda clase de vidrio plano, de cualquier grosor, desde el más delgado de 3 mm hasta el de 20 mm. La herramienta está compuesta por un asa que puede ser de plástico o metálica y una cabeza de acero ó carburo de tungsteno. La cortadora de acero tiene un periodo de vida útil más largo que la de carburo de tungsteno ya que es más resistente y supuestamente no pierde su filo. [13]

2.5.1.4 Software de diseño mecánico:

La mecánica y el SolidWorks están ampliamente relacionados porque el Software SolidWorks tiene un entorno intuitivo, integrado en 3D que cubre todos los aspectos del desarrollo mecánico y ayuda a maximizar la productividad del diseño y la ingeniería. Más de 2 millones diseñadores e ingenieros de todo el mundo lo utilizan.

En la figura 2.7 se aprecia la interfaz del software SolidWorks.



Figura 2.7 Software de modelización / de automatización

Fuente: SolidWorks® Standard. SOLIDWORKS (2015)

SolidWorks

El SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora), desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia) que permite modelar, simular, configurar, animar y analizar piezas y conjuntos de planos técnicos mecánicos.

a) Gestor de diseño FeatureManager.

El gestor de diseño del FeatureManager, proporciona un esquema de la pieza, el ensamblaje o el dibujo activo. Esto le hace más fácil visualizar la construcción del modelo o ensamblaje o examinar las varias hojas y vistas en un dibujo.

En la figura 2.8 se muestra la interfaz del FeatureManager.

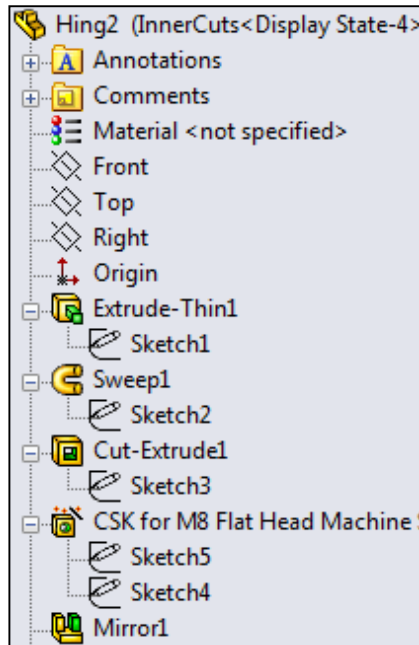


Figura 2.8 Interfaz del FeatureManager

Fuente: SolidWorks. Visualización del FeatureManager (2015)

b) Relaciones de posición.

Las relaciones de posición crean relaciones geométricas entre los componentes de un ensamblaje. A medida que se agregan las relaciones de posición, se definen las direcciones permisibles del movimiento lineal o rotacional de los componentes. Se puede mover un componente dentro de sus grados de libertad, visualizando el comportamiento del ensamblaje.

En la figura 2.9 se muestran las relaciones de posición.

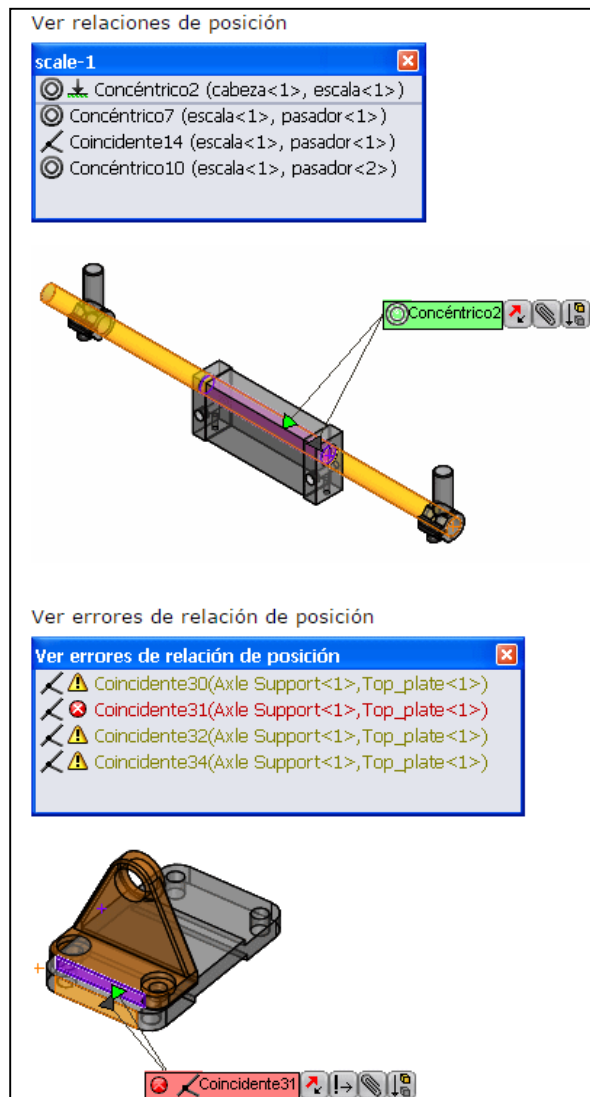


Figura 2.9 Relaciones de posición

Fuente: SolidWorks. Visualización de las relaciones de posición (2015)

c) Análisis de movimiento

Se utiliza Análisis de movimiento para simular y analizar con precisión el movimiento de un ensamblaje a la vez que se incorporan los efectos de los elementos de Estudio de movimiento (incluyendo fuerzas, resortes, amortiguadores y fricción).

Un estudio de Análisis de movimiento combina elementos de estudio de movimiento con relaciones de posición en cálculos de movimiento. Por tanto, las restricciones de

movimiento, las propiedades de materiales, la masa y los contactos entre componentes se tienen en cuenta en los cálculos realizados por el solver cinemático de SolidWorks Motion.

Así mismo, un estudio de Análisis de movimiento calcula cargas para utilizar en la definición de casos de carga para análisis estructural.

Motion Manager (Escala de tiempo)

La escala de tiempo es la interfaz temporal para la animación. y se encuentra a la derecha del gestor de diseño del MotionManager. La escala de tiempo muestra los tiempos y tipos de eventos de animación en el estudio de movimiento.

Interfaz de usuario

A medida que coloque la barra de tiempo, mueva componentes en la zona de gráficos, agregue elementos de simulación o cambie las propiedades visuales, la escala de tiempo muestra los cambios mediante marcas y barras de tiempo.

La escala de tiempo está dividida por líneas de cuadrícula verticales que corresponden a marcadores numéricos que muestran el tiempo.

Los marcadores numéricos empiezan en 00:00:00. La escala de tiempo depende del tamaño de la ventana y el nivel de zoom.

En la figura 2.10 se muestra la interfaz de la escala de tiempo.

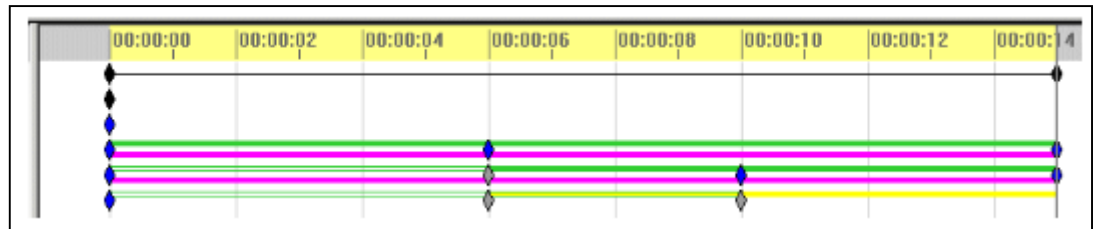


Figura 2.10 Escala de tiempo

Fuente: SolidWorks. Visualización de la interfaz de la escala de tiempo (2015)

Motion Manager (Barra de tiempo)

Representa el tiempo actual. En la figura 2.11 se muestra la interfaz de la escala de tiempo

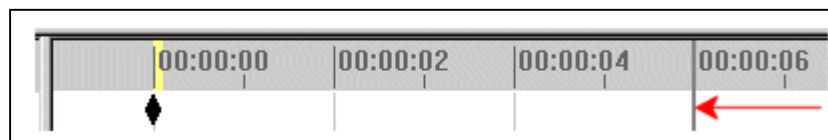


Figura 2.11 Barra de tiempo

Fuente: SolidWorks. Visualización de la interfaz de la barra de tiempo (2015)

Motion Manager (Barra de cambio)

Las barras de cambio son las barras horizontales que conectan marcas. e indican un cambio entre ellas.

Los cambios incluyen:

- Duración de la animación
- Movimiento de componentes
- Cambios en las propiedades del elemento de Simulación.
- Orientación de vista, como rotación
- Propiedades visuales, como color o vista

En la figura 2.12 se muestran las funciones por cada icono de la barra de cambio.

Icono y barra de cambios	Función	Notas
	Duración total de la animación	
	Orientación y vistas de cámara	
	Desactivar reproducción de teclas de vista seleccionado	Duración para esta orientación de vista.
	Elementos de simulación	
	Operación activa	Ejemplo: Se suprime una relación de posición durante un periodo de tiempo.

Figura 2.12 Leyenda de la barra de cambio

Fuente: SolidWorks. Visualización de la interfaz de la barra de cambio (2015)

Property Manager (Motor)

Un motor es un elemento en un estudio de movimiento que mueve componentes en un ensamblaje simulando los efectos de varios tipos de motores. [14]

En la figura 2.13 se muestran los tipos de motores aceptados por SolidWorks.

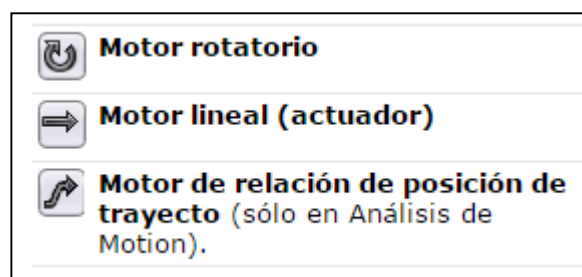


Figura 2.13 Tipos de motor

Fuente: SolidWorks. Tipos de motor (2015)

2.5.2 Automatización

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. [20]

2.5.2.1 Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

- Integrar la gestión y producción. [15]

2.5.2.2 Tipos de Automatización

Automatización fija:

Las características típicas son:

- Fuerte inversión inicial para equipo de ingeniería
- Altos índices de producción
- Relativamente inflexible en adaptarse a cambios en el producto.

La justificación económica para la automatización fija se encuentra en productos con grandes índices de demanda y volumen. [3]

Automatización programable:

Las características típicas son:

- Fuerte inversión en equipo general
- Índices bajos de producción para la automatización fija
- Flexibilidad para lidiar con cambios en la configuración del producto
- Conveniente para la producción en montones

Automatización flexible:

Las características típicas pueden resumirse como sigue:

- Fuerte inversión para equipo de ingeniería

- Producción continua de mezclas variables de productos
- Índices de producción media
- Flexibilidad para lidiar con las variaciones en diseño del producto

Las características esenciales que distinguen la automatización flexible de la programable son:

- Capacidad para cambiar partes del programa sin perder tiempo de producción y;
- Capacidad para cambiar sobre algo establecido físicamente asimismo sin perder tiempo de producción.

2.5.2.3 Razones para la automatización

- Incrementa la productividad
- Alto costo de mano de obra
- Mano de obra escasa
- Tendencia de mano de obra con respecto al sector de servicios
- Seguridad
- Alto costo de materiales en bruto
- Mejora la calidad del producto
- Reduce el tiempo de manufactura
- Reducción del proceso de inventarios
- Alto costo de la no automatización

2.5.2.4 Softwares de automatización

Soporte de Arduino

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador.

También cuenta con su propio software que se puede descargar de su página oficial que ya incluye los drivers de todas las tarjetas disponibles lo que hace más fácil la carga de códigos desde el computador.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. Una tendencia tecnológica es utilizar Arduino como tarjeta de adquisición de datos desarrollando interfaces en software como JAVA, Visual Basic y LabVIEW 6. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Aplicaciones del Arduino

La plataforma Arduino ha sido usada como base en diversas aplicaciones electrónicas:

- Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- Equipo científico para investigaciones.

- Arduinome: Un dispositivo controlador MIDI.
- OBDuino: un económetro que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos.
- SCA-ino: Sistema de cómputo automotriz capaz de monitorear sensores como el TPS, el MAP y el O2S y controlar actuadores automotrices como la bobina de ignición, la válvula LAC y aceleradores electrónicos.
- Humane Reader: dispositivo electrónico de bajo coste con salida de señal de TV que puede manejar una biblioteca de 5000 títulos en una tarjeta microSD.¹⁹
- The Humane PC: equipo que usa un módulo Arduino para emular un computador personal, con un monitor de televisión y un teclado para computadora.²⁰
- Ardupilot: software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- ArduinoPhone: un teléfono móvil construido sobre un módulo Arduino.^{21 22}
- Impresoras 3D.

Entradas y salidas del Arduino

Poniendo de ejemplo al módulo Diecimila, éste consta de 14 entradas digitales configurables como entradas y/o salidas que operan a 5 voltios. Cada contacto puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. Los contactos 3, 5, 6, 9, 10 y 11 pueden proporcionar una salida PWM (Pulse Width Modulation). Si se conecta cualquier cosa a los contactos 0 y 1, eso interferirá con la comunicación USB. Diecimila también tiene 6 entradas analógicas que proporcionan una resolución de 10 bits. Por defecto, aceptan de 0 hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el nivel más alto, utilizando el contacto Aref y algún código de bajo nivel.

Soporte de Fritzing

Fritzing es un programa de automatización de diseño electrónico libre que busca ayudar a diseñadores y artistas para que puedan pasar de prototipos (usando, por ejemplo, placas de pruebas) a productos finales.

Fritzing fue creado bajo los principios de Processing y Arduino, y permite a los diseñadores, artistas, investigadores y aficionados documentar sus prototipos basados en Arduino y crear esquemas de circuitos impresos para su posterior fabricación. Además, cuenta con un sitio web complementario que ayuda a compartir y discutir bosquejos y experiencias y a reducir los costos de fabricación.

2.5.3 Control mediante PLC

2.5.3.1 El relé o relevador:

El relé es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos.

Tipos de Relevadores (Interruptores)

Relevadores en alta tensión para sistemas aislados:

Usan protección homopolar y ubican la falla con la capacitancia de la misma red y/o en el momento de falla insertan una resistencia.

Relevadores en alta tensión para sistemas con puesta a tierra:

Estos relevadores se respaldan con una protección por impedancia en tierra, diferenciales de línea, y homopolares, contra sobretensiones transitorias.

2.5.3.2 Ventajas del PLC:

Las ventajas que ofrece un PLC son muy amplias, no obstante a continuación se lista las más importantes:

- Ahorro de tiempo en su implementación.
- Las modificaciones no requieren cambiar el cableado.
- La lista de materiales es muy reducida.
- Mínimo espacio de aplicación.
- Menor costo.
- Mantenimiento económico.

El Controlador Lógico Programable, en inglés Programmable Logic Controller, es un dispositivo electrónico que es programado por el usuario y se utiliza en la industria electromecánica para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando los costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos.

Es importante conocer las generalidades y lo que el PLC puede hacer por el proceso, pues se puede estar gastando mucho dinero en mantenimiento y reparaciones, cuando estos equipos solucionan el problema y se pagan sólo. La historia de los PLC nos dice que fueron desarrollados por Ingenieros

de la GMC (General Motors Company) para sustituir sus sistemas basados en relevadores.

2.5.3.3 Programación del PLC:

La programación de un PLC se realiza mediante módulos automáticos, con una computadora personal (PC), una consola de programación, un grabador EPROM que es un tipo de chip de memoria de solo lectura (ROM) no volátil, etc.

El programa que más se ha utilizado hasta ahora para su programación es el MICROWIN en sus diferentes versiones.

La programación de un autómatas comienza con la ejecución de un GRAFCET o DIAGRAMA DE MANDO del proceso a controlar y basándose en este GRAFCET realizaremos el DIAGRAMA DE RELES o ESQUEMA DE CONTACTOS, que permite una representación lógica de control similar a los sistemas electromecánicos.

Programar un PLC resulta bastante sencillo. Anteriormente se utilizaban los sistemas de relevadores que eran las más perjudiciales por que podían permanecer por mucho tiempo sin ser detectadas, como por ejemplo:

- La sensibilidad no permite bajos valores del *setting* del relé.
- La detección se dificulta con una falla a tierra de alta impedancia.
- Una carga como un centro de cómputo, telecomunicaciones, equipos de voz y data, se verán afectados por ruidos, sobretensiones, pérdida de información.

- En niveles de baja tensión la falla a tierra de alta impedancia puede causar daños graves si no se cuenta con una adecuada protección en corriente y tensión.
- En niveles de baja tensión la primera falla a tierra de alta impedancia, en sistema aislado, no ocasionará sobre corrientes, y se asemejará a un sistema puesto a tierra. La segunda falla a tierra producirá sobre corrientes.

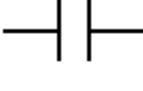
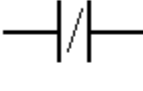
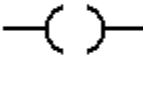
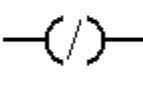
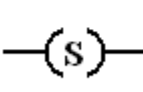
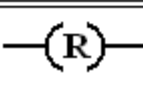
2.5.3.4 Diagrama de rieles:

El Diagrama de rieles, lenguaje ladder, también denominado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes.

Elementos de programación

Para programar un PLC con LADDER, además de estar familiarizado con las reglas de los circuitos de conmutación, es necesario conocer cada uno de los elementos de que consta este lenguaje. En la siguiente tabla podemos observar los símbolos de los elementos básicos junto con sus respectivas descripciones.

Tabla 2.1 Elementos básicos y sus instrucciones

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Fuente: Ramírez, J. Sistemas autómatas de control de procesos (2015)

En la tabla 2.1 se explica la función de cada uno de los contactos que existen en la programación del PLC utilizando el Diagrama de escalera o el lenguaje Ladder, éstos son los contactos más usados en la industria.

Programación

Una vez conocidos los elementos que LADDER proporciona para su programación, resulta importante resaltar cómo se estructura un programa y cuál es el orden de ejecución.

El siguiente esquema de la figura 2.14 se aprecia una configuración básica conformada por entradas y salidas para la programación de los PLC's. que representa la estructura general de la distribución en el lenguaje LADDER:

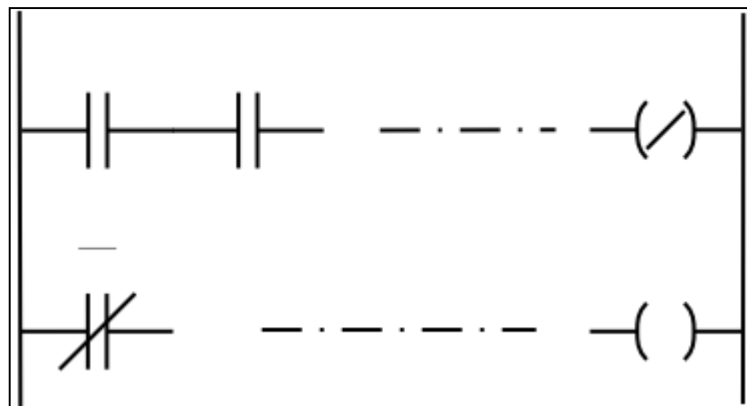


Figura 2.14 Diagrama Ladder
Fuente: Wikimedia. Lenguaje Ladder (2015)

En cuanto a su equivalencia eléctrica, podemos imaginar que las líneas verticales representan las líneas de alimentación de un circuito de control eléctrico.

El orden de ejecución del programa en LADDER es generalmente de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, primero los contactos y luego las bobinas, de manera que al llegar a éstas ya se conoce el valor de los contactos y se activan si procede. El orden de ejecución puede variar de un controlador a otro, pero siempre se respetará el orden de introducción del programa, de manera que se ejecuta primero lo que inicialmente se introduce. [16]

Variables internas y bits de sistema

Las variables internas son bits auxiliares que pueden ser usados según convenga, sin necesidad de que representen ningún elemento del autómeta. Se suele indicar mediante los caracteres B o M y tienen tanto bobinas como contactos asociados a las mismas. Su número de identificación suele oscilar, en general, entre 0 y 255. Su utilidad fundamental es la de almacenar información intermedia para simplificar esquemas y programación. Los bits de sistema son contactos que el propio autómeta activa cuando conviene o cuando se dan unas circunstancias determinadas. Existe una gran variedad, siendo los más importantes los de arranque y los de reloj, que permiten que empiece la ejecución desde un sitio en concreto y formar una base de tiempos

respectivamente. Su nomenclatura es muy diversa, dependiendo siempre del tipo de autómeta y fabricante. [17]

2.5.3.5 Selección del PLC

a. El PLC S7-200

En la figura 2.15 se muestra el tipo de PLC que se va a utilizar para el control del movimiento y las funciones.



Figura 2.15 El PLC Siemens S7-200

Fuente: Can Electric. Siemens S7-200 PLC (2015)

El SIMATIC S7-200 Micro es una clase de PLC autónomo. Excepcionalmente compacto pero muy capaz, en especial con respecto a su rendimiento en tiempo real, es rápido, cuenta con grandes opciones de comunicación, y es fácil para utilizar hardware y software.

El SIMATIC S7-200 Micro PLC tiene un diseño modular consistente para soluciones personalizadas y de composición abierta como para ser ampliado en cualquier momento en el futuro. Todo ello hace del SIMATIC S7-200 Micro PLC una solución altamente eficaz y económica para el control automatizado en el rango de rendimiento compacto.

Campo De Aplicación

El SIMATIC S7 -200 Micro PLC se usa para tareas de automatización sencillas. Los campos de aplicación del SIMATIC S7 -200 se extienden desde la sustitución de relés y contactores hasta tareas de automatización más complejas en el modo independiente, en las redes y en configuraciones distribuidas. Además de la funcionalidad básica integral de los cinco CPUs diferentes, la tecnología del sistema modular del SIMATIC S7 -200 ofrece una amplia gama de módulos de ampliaciones escalables y específicas para una muy alta gama de funcionalidades de acuerdo con los requisitos. Se ha demostrado en todo el mundo que el S7 -200 tiene varias aplicaciones que abarcan todos los sectores, como resultado de su amplia gama de características excepcionales:

a. CPU 221

CPU compacta para tareas de automatización sencillas. El mejor dispositivo compacto si se desea cambiar a una solución eficaz que realiza tareas de automatización sencillas de forma muy económica. También está disponible con una amplia gama de temperaturas.

b. CPU 222

CPU compacta para tareas más complejas, el paquete capaz para máquinas más complejas y soluciones de pequeños sistemas.

c. CPU 224

CPU para una mayor comunicación, alto rendimiento para las tareas complejas que requieren velocidad, capacidades de comunicación especiales y otras necesidades de computación. [18]

2.5.3.6 Desventajas de otros sistemas de control

- **Por PID:**

El Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) es aplicable a la mayoría de los problemas de control, aunque su efectividad es limitada en otras aplicaciones como cuando se usan solos, la ganancia del lazo de control del PID debe ser reducida para que no se eleve u oscile sobre el valor del "Setpoint". Otro problema común que posee el PID es, que en la parte derivativa, el ruido puede afectar al sistema, haciendo que esas pequeñas variaciones, hagan que la respuesta de la señal a la salida sea muy grande. Generalmente un Filtro pasa bajo ayuda a regular la salida, ya que elimina las componentes de alta frecuencia del ruido. [2]

- **Por PIC:**

Una de las desventajas que se ve en la arquitectura de los PIC, es que la pila es de tamaño fijo, por lo cual si se quiere llamar varias funciones sobre el código del programa, se tiene que tener cuidado de no desbordar la pila. Además no se puede acceder manualmente a la pila, en otras palabras. El CPU puede escribir sobre ella.

Su juego de instrucciones reducido. Hasta el momento, son estos algunas observaciones que se ha tenido acerca de estos micro controladores, tal vez se haya pasado de largo muchas características, pero solo se quiere dar a conocer algunos pequeños puntos de vista. [3]

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 Diseño de la máquina cortadora de vidrio (M.C.V.)

En la presente tesis se realiza el análisis y evaluación del desempeño operativo del sistema de control para una máquina cortadora de vidrio mediante la simulación y cálculo del SCADA del PLC. Así mismo hace énfasis en la necesidad de contar con un sistema de corte automatizado como medio para alcanzar los objetivos y tener éxito en la ejecución de las pruebas de corte de vidrio.

Lo que se trata de realizar en este proyecto es facilitar el trabajo de muchas vidrierías que utilizan métodos tradicionales de corte de vidrio. Como se sabe, existen distintos programas capaces de crear modelos en tres dimensiones de elementos existentes como elementos que pueden ser manufacturados después del diseño en éstas. Para comenzar con el diseño, primero se procedió a recolectar el material existente como motores, poleas, fajas, soportes y batería. Esto con el fin de obtener las piezas físicas, para así poder modelarlas en el programa que se eligiera más tarde. Una vez que se eligieron los mejores elementos de una lista limitada, se procedió a elegir la herramienta CAD la cual ayudaría al diseño de éstos.

Se eligió utilizar el programa SolidWorks ya que es una potente herramienta para el modelado mecánico de rango medio. Éste permite modelar piezas y conjuntos, y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Ya que se eligió la herramienta con la cual se diseñaría, se empezó a modelar cada una de las piezas más significativas con sus medidas y características exactas como el soporte móvil modelado en la Figura 3.1

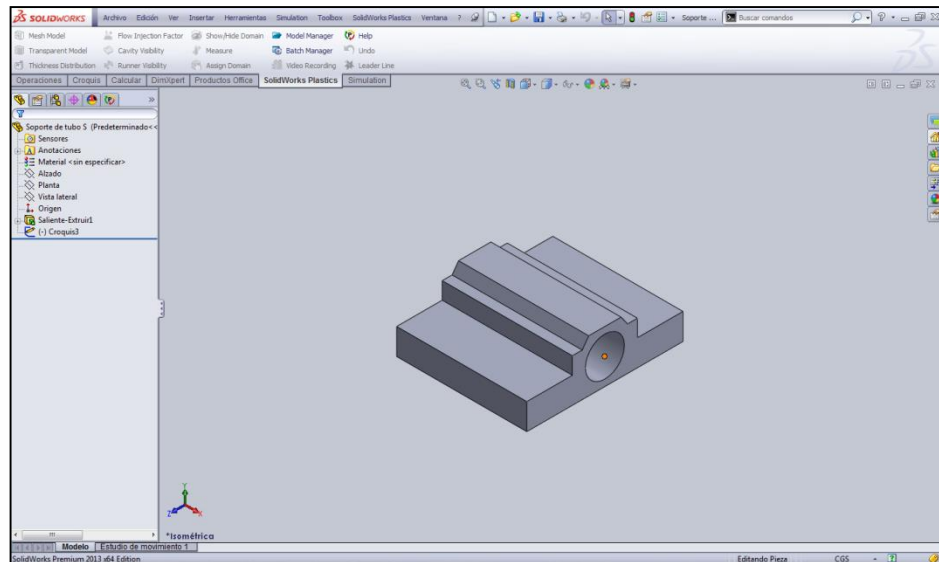


Figura 3.1 Modelado de un soporte en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

Se pensó en un diseño simple pero efectivo, de fácil ensamble y hasta cierto punto reutilizable. Con esto se quiere lograr que el diseño no sólo sirva para una simple tarea, si no que en un futuro pueda ser reutilizado cambiando la lógica del programa y utilizarlo para otras más. También se podrían cambiar los componentes a unos más precisos si éste fuera el caso. Hablando de la simplicidad del diseño, se estudiaron distintos tipos de robots móviles en los cuales, en mucho de los casos se utilizaba el mismo tipo de diseño ya que es práctico y no tiene muchas complicaciones en esquivar obstáculos. Para demostrar la hipótesis general se tomará en cuenta la eficiencia de cada sistema de corte:

3.1.1 Diseño de la parte mecánica de la M.C.V.

Lo que se pretende realizar con este proyecto es un prototipo básico, ya que se puede modificar el tamaño de la máquina cortadora de vidrio de acuerdo al tamaño estándar de los planchas de vidrio. En este prototipo se crea un mecanismo de corte automatizado dotado de un desplazamiento horizontal y vertical considerando una medida de 60cm x 50cm, pudiendo esto ampliarse a la medida requerida. En este caso particular se considera la medida indicada anteriormente.

- **Descripción del sistema mecánico de la Máquina Cortadora de Vidrio.**

Este sistema está apoyado sobre una mesa cuadrada con una plataforma inferior para mayor comodidad. Se ha adecuado dos componentes angulares para ambos lados de la máquina, éstos sirven como soporte para la unión de dos barras de acero alineados paralelamente con el objetivo de permitir el desplazamiento horizontal del puntero láser. A su vez estas barras de acero también sirven de soporte para otro par de componentes angulares con el fin de permitir el desplazamiento vertical del mismo puntero láser. Estos desplazamientos ortogonales del puntero láser son efectuados mediante el mecanismo de fajas de transmisión que serán controlados por dos motores DC. Las formas y dimensiones de los motores están indicadas en los gráficos de los componentes.

- **Descripción de los planos de trabajo de la Máquina cortadora de Vidrio:**

Los planos de trabajo que se utilizan en este proyecto son:

Sobre el eje X: Izquierda y Derecha.

Sobre el eje Y: Arriba y Abajo.

Sobre el eje Z: Encendido y apagado del cabezal láser

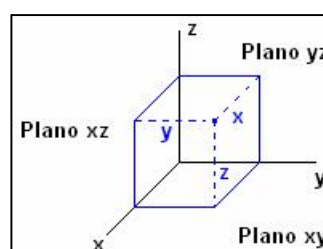


Figura 3.2 Planos de trabajo de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Pontificia universidad Javeriana. Sistema de coordenadas (2015)

- **Descripción de la transmisión de fuerza de la Máquina Cortadora de Vidrio.**

La transmisión de fuerza del motor es de forma lineal y segmentado para facilitar el desplazamiento del puntero láser, esto significa que el puntero láser podrá desplazarse sobre el eje x , x' y el eje y , y' .

A continuación se muestran 5 Diagramas dinámicos de la máquina cortadora de vidrio.

Diagrama de Fuerzas normales y del peso que se ejerce en el equipo:

En la Figura 3.3 se indica las fuerzas normales y el peso que ejerce cada componente físico de la máquina cortadora de vidrio. Las partes que la componen son: Los soportes angulares, la vara, los 4 soportes móviles, 2 poleas y 2 fajas.

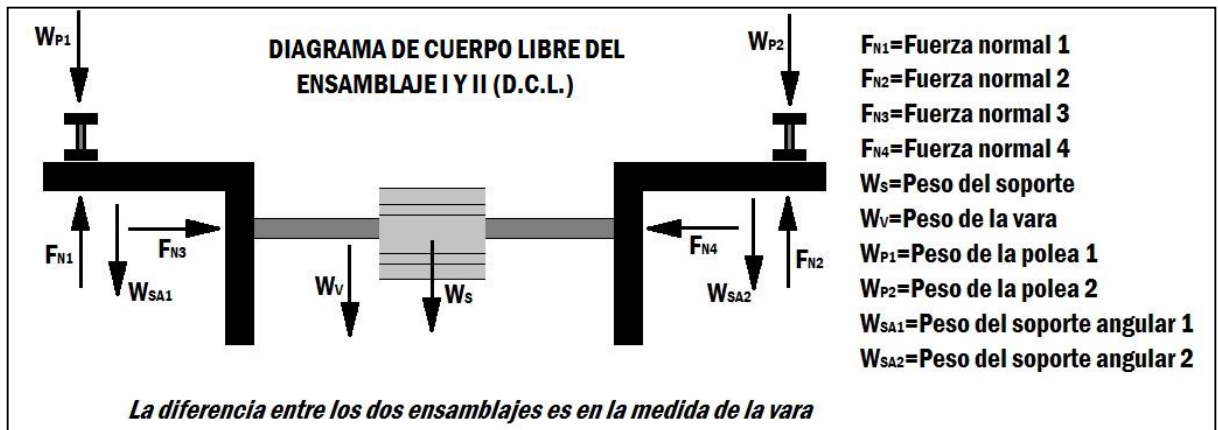


Figura 3.3 Diagrama de Cuerpo Libre del Ensamblaje I
 Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Diagrama de Movimiento de la máquina cortadora de vidrio:

En la Figura 3.4 el desplazamiento de la cortadora de vidrio es ortogonal a lo largo del eje X e Y. El movimiento ortogonal depende del sentido de giro del motor DC, ya sea horario o anti horario.

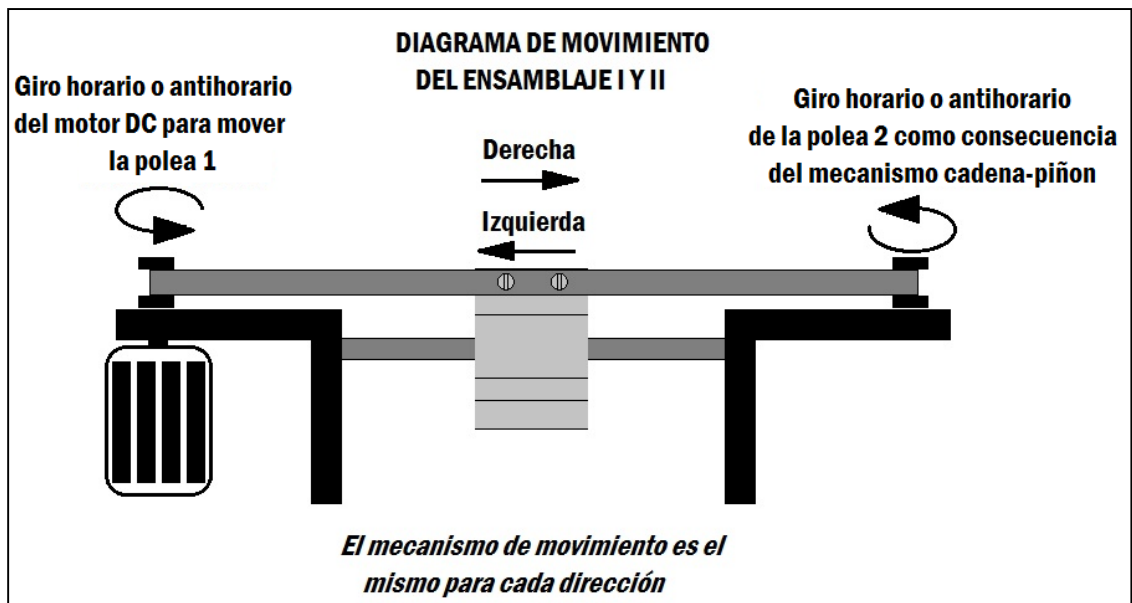


Figura 3.4 Diagrama de Movimiento de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Diagrama del mecanismo de transmisión de movimiento de la máquina cortadora de vidrio:

En la Figura 3.5 se muestra el mecanismo de faja-polea para el avance ortogonal de la máquina cortadora de vidrio.

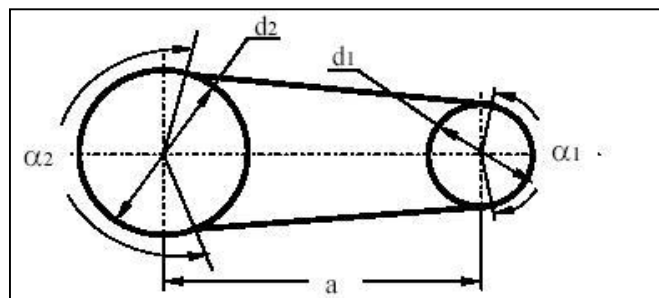


Figura 3.5 Sistema de Movimiento de la Base de la M.C.V.
Fuente: García, F. Movimiento de una bicicleta (2015)

Diagrama del control del movimiento de la máquina cortadora de vidrio con el soporte del Arduino:

En la Figura 3.6 se muestra la conexión del motor DC con el Arduino para el desplazamiento ortogonal de la de la máquina cortadora de vidrio.

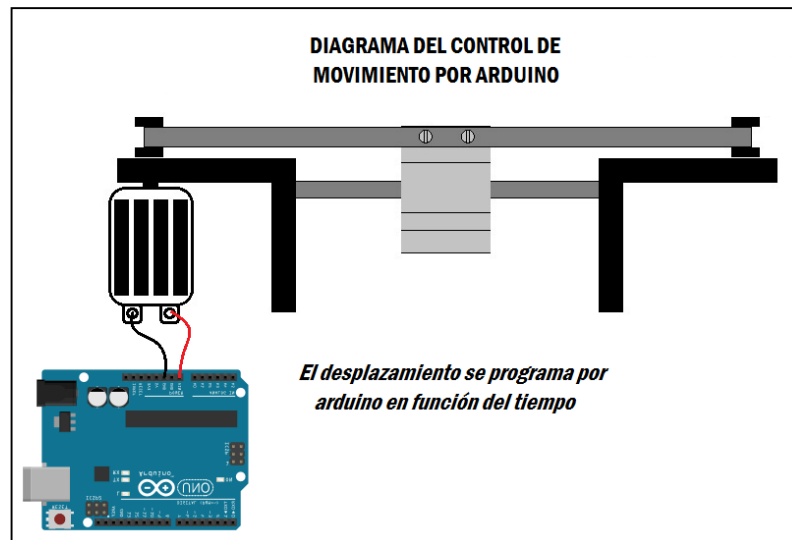


Figura 3.6 Control del movimiento por Arduino
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Soporte de Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un micro controlador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los micro controladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. Se programa en el

ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos.

Diagrama de la ubicación de los sensores de ultrasonido de la máquina cortadora de vidrio:

En la Figura 3.7 se muestra la ubicación de los sensores de posición en la varilla de la máquina cortadora de vidrio.

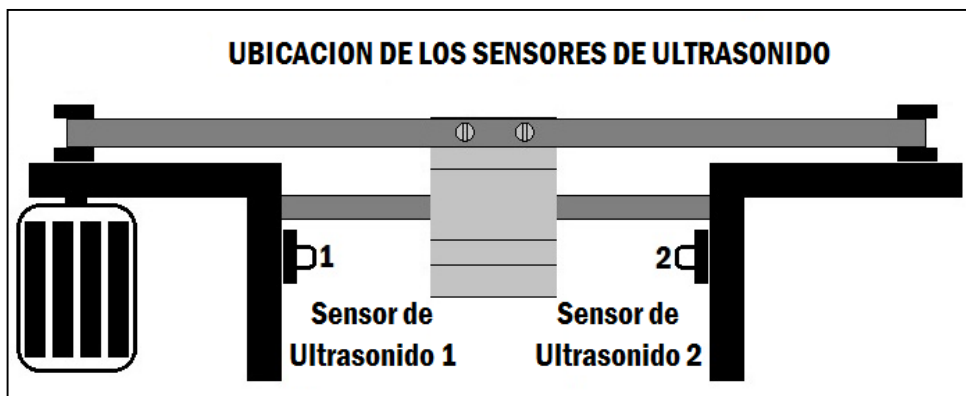


Figura 3.7 Ubicación de los Sensores de Ultrasonido de la varilla de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Cálculo Ergonómico de la Máquina Cortadora de Vidrio.

Para determinar la resistencia del peso que pueden soportar las láminas de vidrio se toma de referencia la siguiente Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Peso aproximado de las láminas de vidrio por metro cuadrado

Espesor		Peso Aproximado Kg/m ²
Milímetros	Pulgadas	
2.5	3/32	6.3
3	1/8	7.6
4	5/32	10.1
5	3/16	12.7
6	1/4	15.2
8	5/16	20.2
10	3/8	25.3
12	1/2	30.4
19	3/4	48.1

Fuente: Extralum. Peso aproximado del vidrio (2015)

Se va a considerar 5 milímetros de espesor por cada metro cuadrado, por lo tanto: El peso del vidrio es de 12.7 Kg/m², que en g/cm² equivale a 1.27 g/cm² entonces para 48x58 cm² el peso que debe soportar la mesa de vidrio es de 3535,68 g que equivale a 3,53568 Kg. [23]

$$F = m \times a = 3.536(9.81) = 34,688 \langle N \rangle \dots\dots\dots [1]$$

Donde:

– F = Fuerza $\langle N \rangle$

– m = Masa $\langle Kg \rangle$

– a = Aceleración de la gravedad $\langle m / s^2 \rangle$

En la Figura 3.8 se muestra el diseño de la base de la máquina cortadora de vidrio indicando la máxima carga que puede soportar

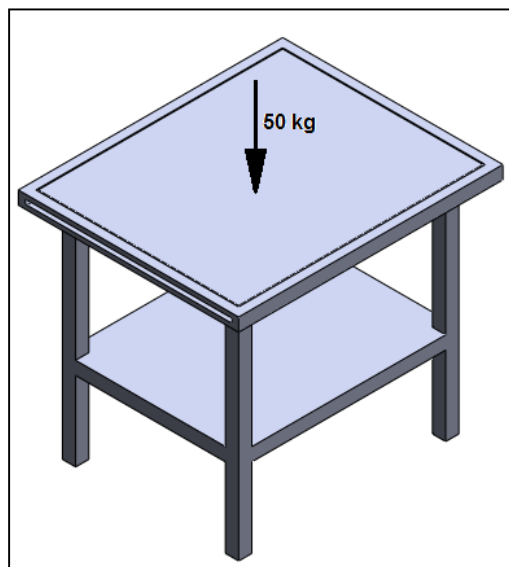


Figura 3.8 Carga que resiste la Base de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en Solidworks (2015)

Diseños de vidrio

Tabla 3.2 Diseños comerciales de vidrio

Catedral	
Silecia	
Oceánico	Incoloro
	Verde
	Uva
	Ámbar
	Azul
Pluma	Incoloro
	Ámbar
Arabesco	Bronce
	Incoloro
	Verde
	Ámbar
	Azul
Llovisna	Bronce
	Ámbar
	Incoloro
Flora	Ámbar
	Incoloro
Acuario	Incoloro

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

Las planchas de vidrio estándares tiene las siguientes medidas:

Tabla 3.3 Medidas y precios comerciales de las láminas de vidrio

		Medidas (m)	Precio	Grosor (mm)
Vidrio simple	Ancho	2.14	S/. 40.00	De 2 a 10
	Largo	3.3		
Vidrio catedral	Ancho	2.14	S/. 54.00	
	Largo	1.6		

Fuente: Extralum. Peso aproximado del vidrio (2015)

La Temperatura del Vidrio

Como se observa en la Figura 3.9, la temperatura es un factor muy importante debido a los altos valores de compresibilidad y la rapidez con la que cambia, que concuerdan con la concepción de la naturaleza líquida del estado vítreo. La

compresibilidad es la acción de reducir el volumen de un material. En los sólidos y líquidos el volumen se comprime muy poco por efecto de la presión. En el vidrio sucede lo mismo, pero esta propiedad es importante porque de ella dependen las aplicaciones que se le puedan dar. En la figura 3.9 se aprecia que la compresibilidad del vidrio de Na y K aumenta linealmente con la temperatura, el que contiene boro silicato de cinc siempre decrece, mientras que el de sílice y el pírex decaen para volver a crecer aproximadamente después de los 250°C.

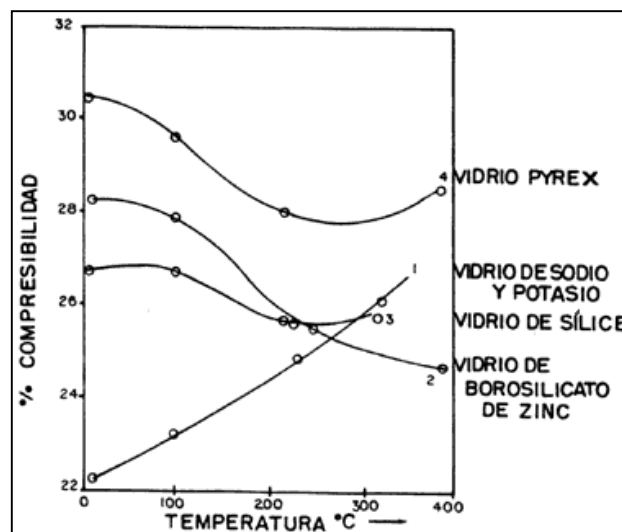


Figura 3.9 Porcentaje de compresibilidad por efecto de la temperatura en varios vidrios. Fuente: Instituto latinoamericano de la comunidad educativa. Propiedades de los vidrios (2015)

La Resistencia del Vidrio

La resistencia que ofrece el vidrio al ponerlo en contacto con el agua o con agentes atmosféricos, así como con soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, es una propiedad de gran importancia llamada durabilidad química, que lo hace tomar ventaja sobre otro tipo de materiales, como los plásticos, por ejemplo. Los vidrios comunes parecen ser químicamente inertes, pero en realidad reaccionan con muchas sustancias, lo que sucede es que lo hacen lentamente y por eso se pueden utilizar. Cuando se habla de altas resistencia a reactivos químicos se quiere decir que para que las reacciones ocurran tiene que pasar un tiempo muy largo, por lo que prácticamente no reaccionan. El vidrio tiene una resistencia excelente a los ácidos, excepto al fluorhídrico, y a las soluciones alcalinas frías. Por eso es muy útil como envase de reactivos

químicos. También es particularmente adecuado para tuberías transparentes. Por supuesto que tiene el gran inconveniente de su fragilidad y de la poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura, pero en ese caso se puede usar vidrio blindado con fibra de vidrio de poliéster para evitar roturas, teniendo así la ventaja de la resistencia a la corrosión del vidrio y la fuerza estructural del acero.

Los recubrimientos de vidrio son resistentes a todas las concentraciones de ácido clorhídrico a temperaturas menores de 200° C; a todas las concentraciones de ácido nítrico hasta el punto de ebullición; al ácido sulfúrico diluido hasta el punto de ebullición y concentrado hasta 300° C. Existe también un vidrio que aguanta a los ácidos con resistencia mejorada a las bases. En la Figura 3.10 se presenta una gráfica de la resistencia que tiene un vidrio comercial a la acción de diferentes ácidos y álcalis. El material fue expuesto a los reactivos durante seis horas. De estas gráficas se deduce que el vidrio pírex es el más inerte y el único que no es afectado por las bases. Los otros vidrios tienen como fórmula química general $w\text{Na}_2\text{O}-x\text{CaO}-\text{SiO}_2$. Nuevamente, lo que cambia son los valores de w y x , dando distintas composiciones. Mientras más grande sea el valor de w , más Na_2O tendrá y será más resistente.

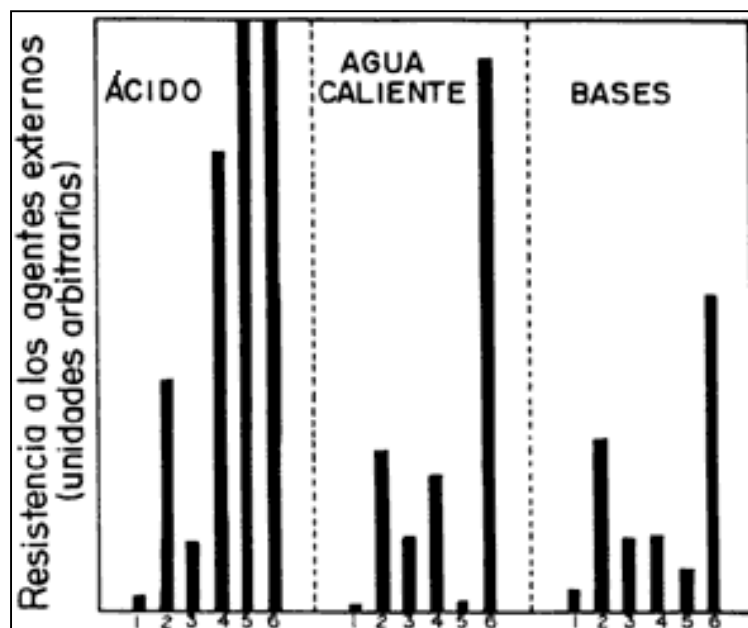


Figura 3.10 Comparación de la acción de diferentes soluciones ácidas, H₂O y básicas en seis vidrios. (Los números del 1 al 5 son sódico-cálcicos y el 6 es pyrex)

Fuente: Instituto latinoamericano de la comunidad educativa. Propiedades de los vidrios (2015)

En la misma figura se puede observar que todos, menos el pírrex, reaccionan con el agua caliente. En contacto con medio acuoso lo que ocurre es un intercambio de iones sodio $[Na^+]$ por iones hidronio $[H_3O^+]$. Los iones hidronio están presentes en el agua en equilibrio con los iones $[OH^-]$. Este intercambio va disolviendo el material. Por el contrario, cuando el vidrio se mezcla con una base, el intercambio iónico sucede entre los aniones (los que tienen carga negativa) de la estructura $[Al(OH)_4^-]$ y los grupos hidroxilo $[OH^-]$ de la base. Como resultado tendremos una mayor cantidad de $[OH^-]$ dentro de la estructura del vidrio.

Tener un material químicamente inerte ha sido una preocupación por muchos años. Desde que en 1868 se obtuvo por primera vez un vidrio resistente a los ácidos, a las bases y a diferentes agentes corrosivos químicos, se han sucedido muchos adelantos hasta llegar al vidrio pírrex, conocido por su alta durabilidad química a altas temperaturas, con una composición de 81% de SiO_2 , 13% de B_2O_3 , 3.6% de Na_2O , 0.2% de K_2O y 2.2% de Al_2O_3 , que hasta la fecha no ha cambiado ni ha podido ser sustituido por otro. [24]

Dimensionamiento de la Máquina cortadora de vidrio

El dimensionamiento de la máquina cortadora de vidrio se realiza con la exportación del diseño tridimensional del equipo a un plano CAD del mismo SolidWorks 2013.

En las siguientes figuras, se muestran las medidas reales en sus distintas vistas básicas de la máquina cortadora de vidrio utilizando SolidWorks 2013.

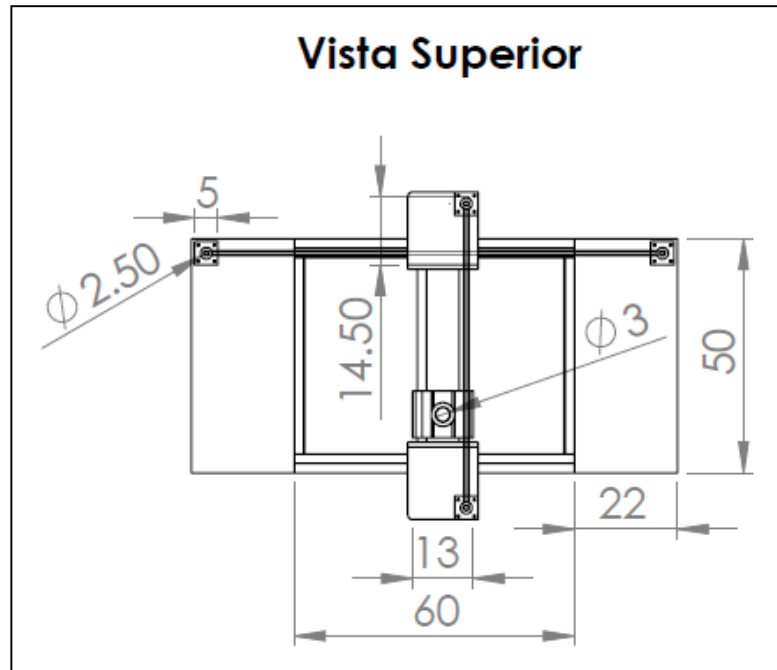


Figura 3.11 Vista Superior de la máquina cortadora de vidrio
 Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

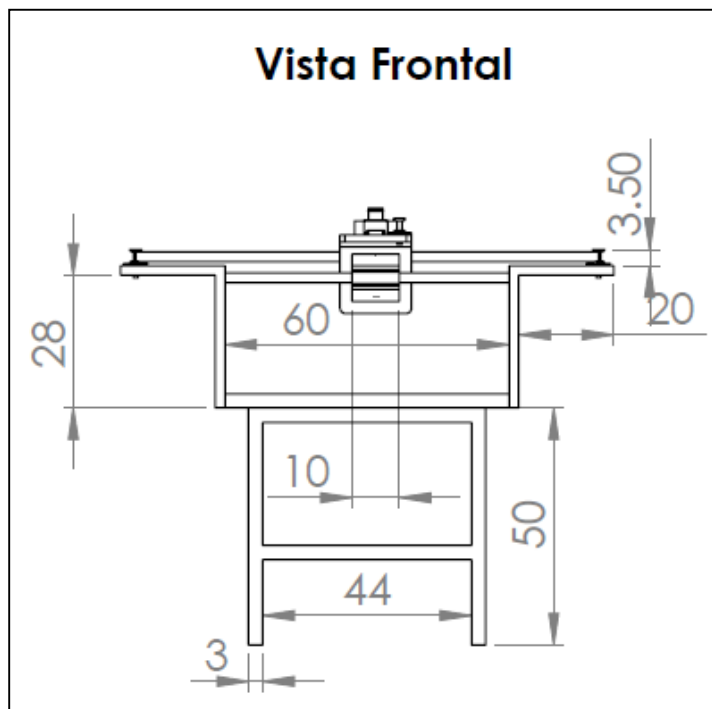


Figura 3.12 Vista Frontal de la máquina cortadora de vidrio
 Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

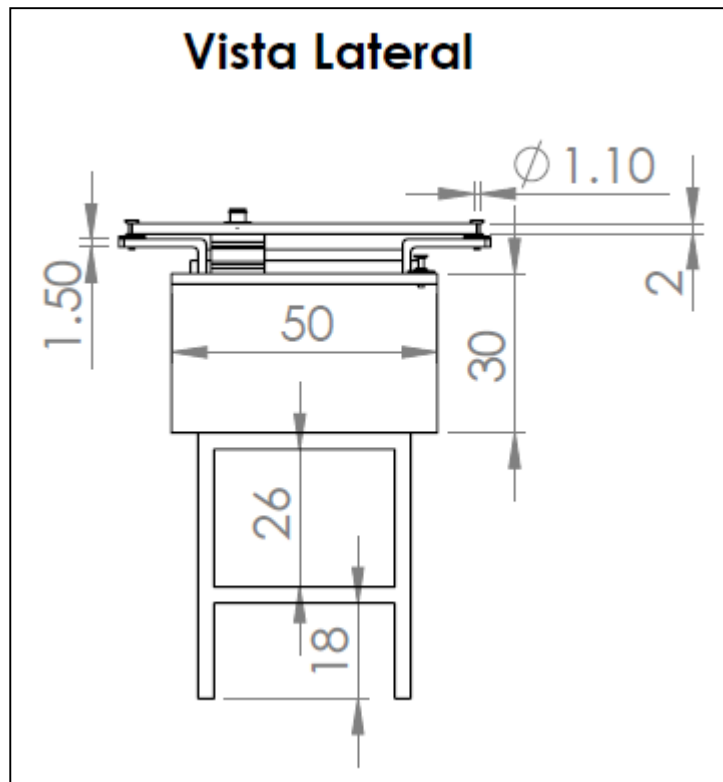


Figura 3.13 Vista lateral de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

Para una mayor apreciación del diseño tridimensional del equipo se muestra la configuración del equipo completo a una mayor escala en la vista isométrica de la máquina cortadora de vidrio de la Figura 3.14

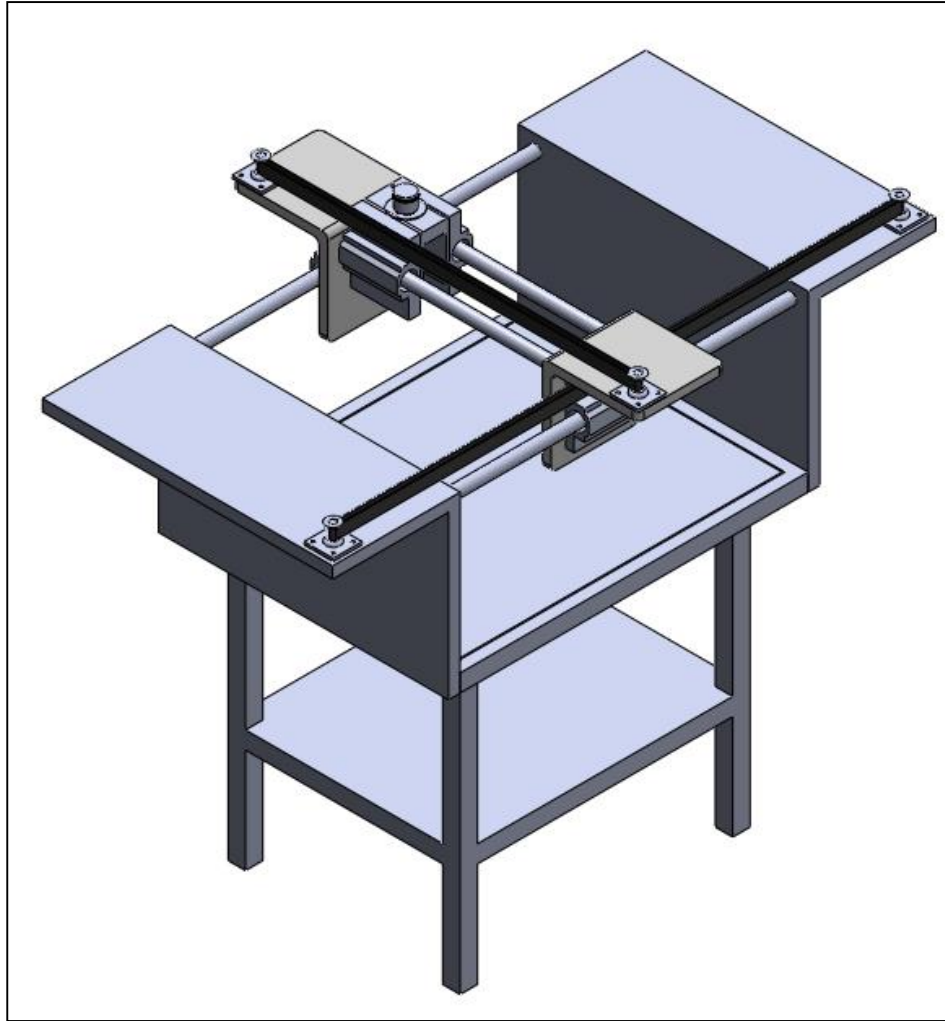


Figura 3.14 Vista isométrica de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

Para un mejor detalle del equipo diseñado, a continuación se muestran las dimensiones del sub-ensamblaje horizontal, vertical y del cabezal de la cortadora:

- **Sub-ensamblaje Vertical**

En la figura 3.15 se aprecia el modelo del sistema de sub-ensamblaje vertical del diseño, el cabezal de la cortadora se coloca en medio de las 2 varillas que se moverán por el funcionamiento del motor DC.

Para más detalles de las medidas del ensamblaje, en el anexo 3 se muestra sus tres vistas principales: la frontal, la superior y la lateral.

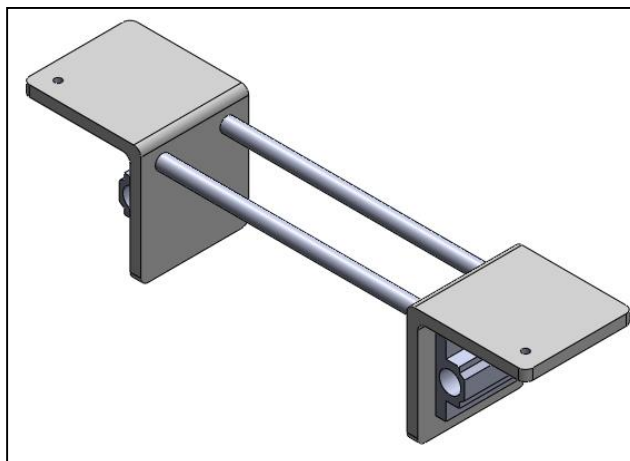


Figura 3.15 Vista isométrica del ensamblaje 1 de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

- **Sub-ensamblaje Horizontal**

En la figura 3.16 se aprecia el modelo del sistema del sub-ensamblaje horizontal, acoplado con la mesa de corte. El sub-ensamblaje vertical se coloca en medio de las otras 2 varillas que se moverán por el giro del segundo motor DC.

Para más detalles de las medidas del ensamblaje, en el anexo 4 se muestra sus tres vistas principales: la frontal, la superior y la lateral.

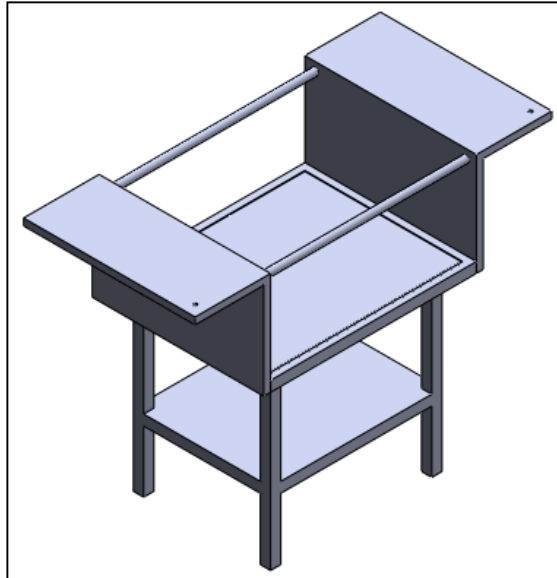


Figura 3.16 Vista isométrica del ensamblaje 2 de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

- **Cabezal de la cortadora**

En la figura 3.17 se aprecia el modelo del cortador láser que será la pieza móvil en un sistema de movimiento ortogonal secuencial. Éste se coloca encima del sub-ensamblaje vertical.

Para más detalles de las medidas del ensamblaje, en el anexo 2 se muestra sus tres vistas principales: la frontal, la superior y la lateral.

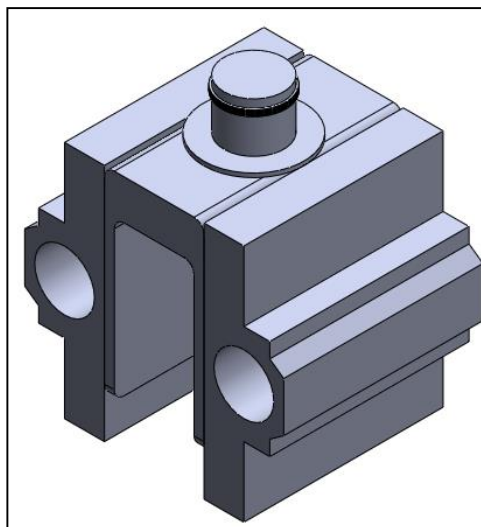


Figura 3.17 Vista isométrica del cabezal de la cortadora
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

A continuación se muestra el diseño de las piezas pequeñas de la máquina cortadora de vidrio:

- **El motor DC**

El motor DC permitirá el accionamiento eléctrico del giro de las poleas con el que el cabezal se movilizará de acuerdo a la secuencia programada de movimiento en los ejes: X e Y.

A continuación en la figura 3.18 se muestra el diseño tridimensional del motor DC, para más detalles de las medidas de la pieza, en el anexo 1 se muestra sus tres vistas principales: la frontal, la superior y la lateral.

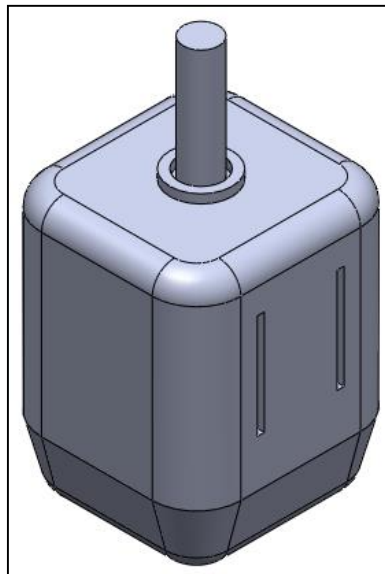


Figura 3.18 El motor DC de la M.C.V. ensamblado en SolidWorks.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

- **El piñón o polea**

El componente que permite el movimiento de la faja es el piñón o polea. En este proyecto se utilizan dos pares de piñones o poleas de diferentes medidas para cada uno de los sub-ensamblajes del equipo.

A continuación en las siguientes figuras se muestra el diseño tridimensional del piñón o patea con sus respectivas vistas básicas.

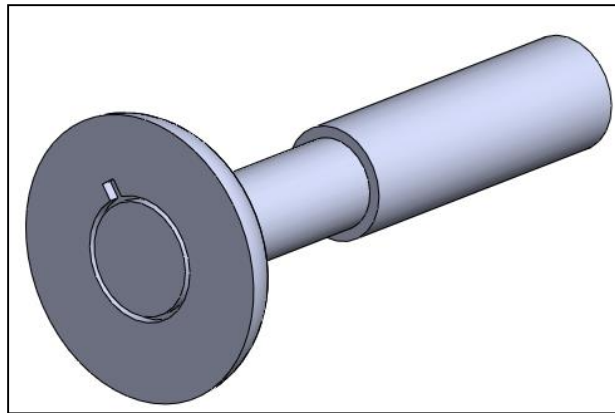


Figura 3.19 Vista Isométrica del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

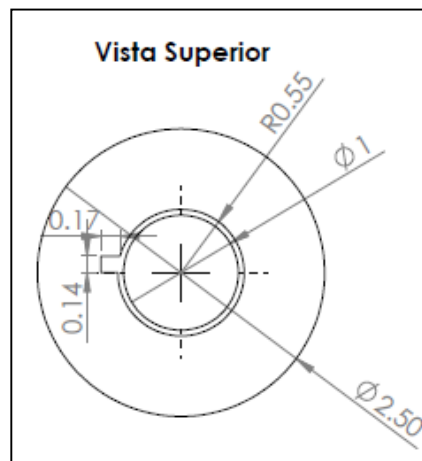


Figura 3.20 Vista superior del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

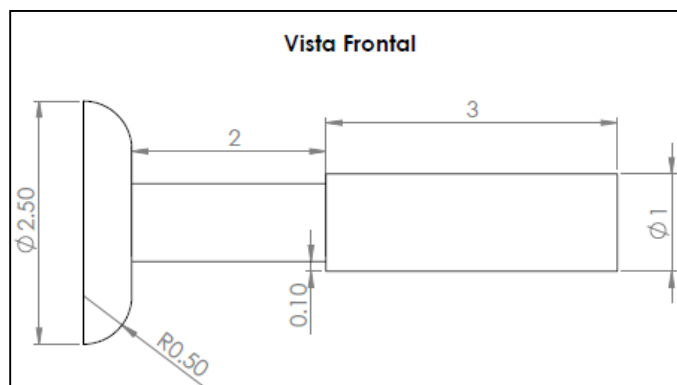


Figura 3.21 Vista frontal del piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

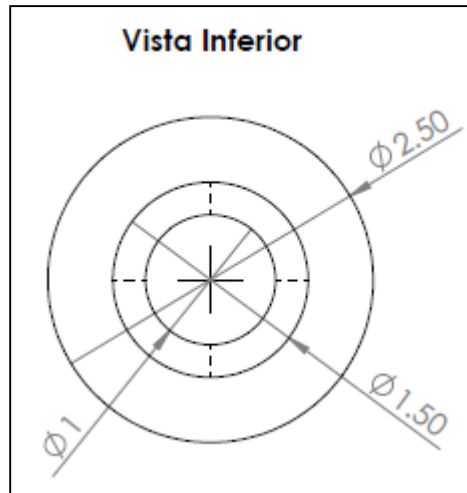


Figura 3.22 Vista Inferior del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

- **El soporte del piñón o patea**

El componente que une la superficie del soporte angular y el piñón o patea es el soporte fijo que está ajustado mediante tuercas y tornillos. En este proyecto se utilizan 4 de estos componentes para cada piñón o patea de cada uno de los sub-ensamblajes del equipo. A continuación en las siguientes figuras se muestra el diseño tridimensional del soporte del piñón o patea con sus respectivas vistas básicas.

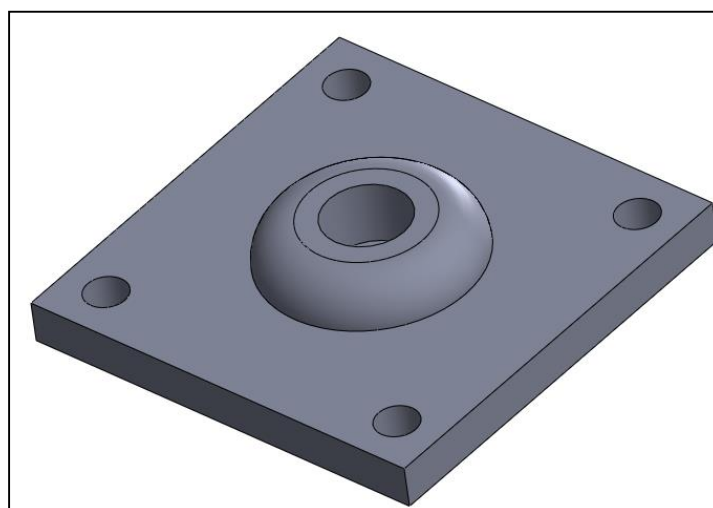


Figura 3.23 Vista isométrica del soporte fijo del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

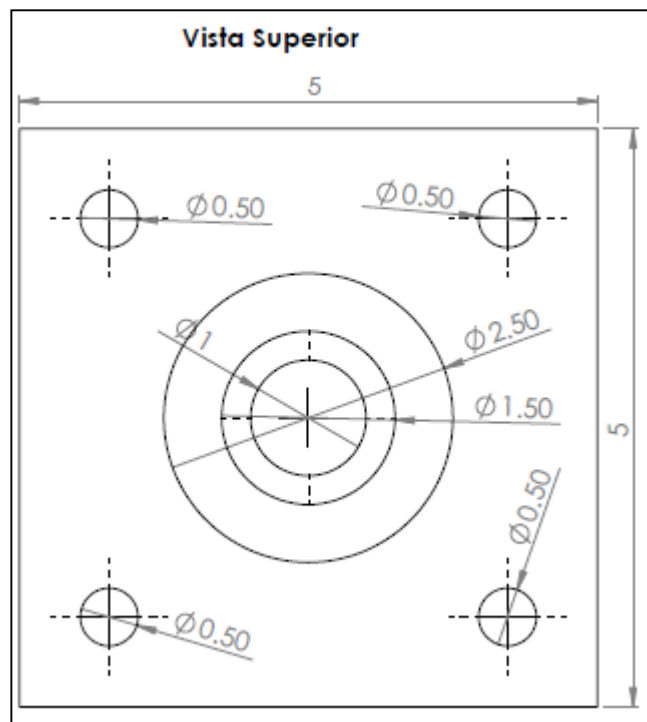


Figura 3.24 Vista superior del soporte fijo del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

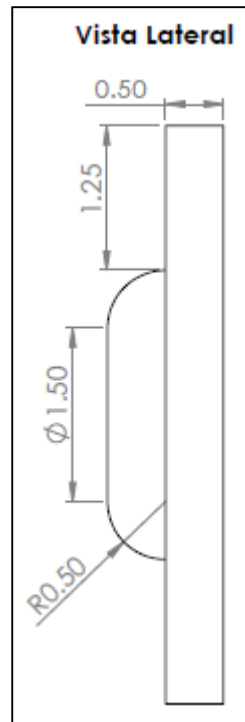


Figura 3.25 Vista Lateral del soporte fijo del Piñón de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

- **La cadena o faja**

El componente que hace posible el desplazamiento del equipo es la cadena o faja, hecho de caucho por su mayor flexibilidad, elasticidad, resistencia al romperse y seguridad. En este proyecto se utilizan 2 cadenas o fajas de distintas longitudes para el desarrollo del movimiento ortogonal del equipo.

A continuación en las siguientes figuras se muestra el diseño tridimensional de la cadena o faja con sus respectivas vistas básicas.

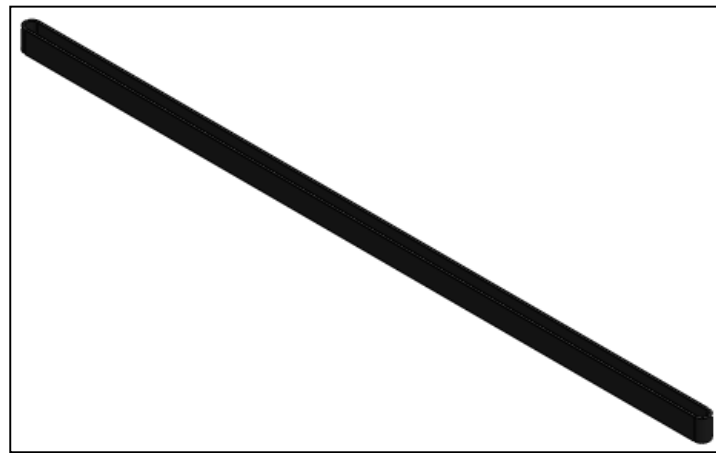


Figura 3.26 Vista isométrica de la Faja de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

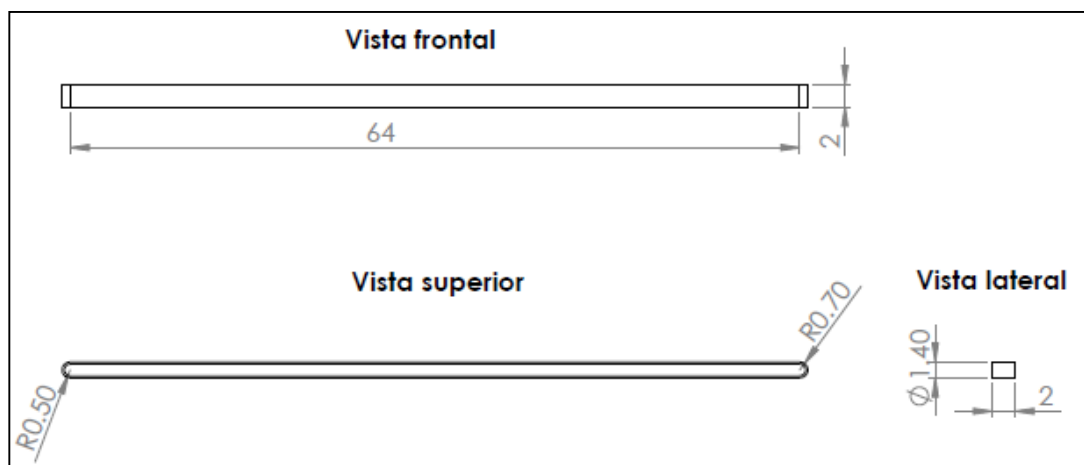


Figura 3.27 Vistas Básicas de la Faja de la M.C.V.
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks (2015)

Cálculos mecánicos de las varillas de la máquina cortadora de vidrio:

- Cálculos de la varilla de 38.5 cm:

Para calcular la masa y la inercia de la varilla se determina con las siguientes funciones:

$$m = \frac{\pi \times d^2 \times l \times \rho}{4 \times g} \dots\dots\dots [2]$$

Donde:

- m = Masa $\langle gr \rangle$

- d = Diámetro de la varilla $\langle cm \rangle$

- l = Longitud de la varilla $\langle cm \rangle$

- ρ = Densidad del material $\langle gr/cm^2 \rangle$

- g = Aceleración debido a la gravedad $\langle cm/s^2 \rangle = 981 \langle cm/s^2 \rangle$

$$m = \frac{\pi \times 2^2 \times 38.5 \times 2.6894}{4 \times 981} = 0.3316$$

$$I_y = I_z = \frac{m \times l^2}{12} \dots\dots\dots [3]$$

Donde:

- m = Masa $\langle gr \rangle$

- l = Longitud de la varilla $\langle cm \rangle$

- $I_y = I_z$ = Momento de inercia $\langle gr \times cm^2 \rangle$

$$I_y = I_z = \frac{38.5^2 \times 0.3316}{12} = 40.9588$$

- **Cálculos de la varilla de 62 cm:**

Para calcular la masa y la inercia de la varilla se determina con las siguientes funciones:

$$m = \frac{\pi \times d^2 \times l \times \rho}{4 \times g} \dots\dots\dots [4]$$

Donde:

- m = Masa $\langle gr \rangle$

- d = Diámetro de la varilla $\langle cm \rangle$

- l = Longitud de la varilla $\langle cm \rangle$

- ρ = Densidad del material $\langle gr/cm^2 \rangle$

- g = Aceleración debido a la gravedad $\langle cm/s^2 \rangle = 981 \langle cm/s^2 \rangle$

$$m = \frac{\pi \times 2^2 \times 62 \times 2.6894}{4 \times 981} = 0.53398$$

$$I_y = I_z = \frac{m \times l^2}{12} \dots\dots\dots [5]$$

Donde:

- m = Masa $\langle gr \rangle$

- l = Longitud de la varilla $\langle cm \rangle$

- $I_y = I_z$ = Momento de inercia $\langle gr \times cm^2 \rangle$

$$I_y = I_z = \frac{62^2 \times 0.53398}{12} = 171.0516$$

Funcionamiento de la máquina cortadora de Vidrio:

Para el funcionamiento de la máquina cortadora de vidrio, se toma en cuenta el movimiento de 2 motores.

- **Cálculo de la velocidad de transmisión del mecanismo Faja-Polea:**

Para calcular la velocidad del movimiento de las poleas de la máquina cortadora de vidrio se calcula la relación entre las poleas o fajas del equipo:

$$n1 \cdot d1 = n2 \cdot d2 \dots \dots \dots [6]$$

Donde:

- $n1$ = Velocidad de la polea de entrada
- $d1$ = Diámetro de la polea de entrada
- $n2$ = Velocidad de la polea de salida
- $d2$ = Diámetro de la polea de salida

Entonces comprobando n y d :

$$\begin{aligned} 30rpm \cdot 1cm &= 30rpm \cdot 1cm \\ 30rpm \cdot cm &= 30rpm \cdot cm \end{aligned}$$

- **Cálculo de la potencia del motor DC 1 en HPs:**

El control de movimiento de la base de la maquina cortadora de vidrio se hace con el motor eléctrico 1, por lo que primero se calcula la potencia del motor 1 en caballos de fuerza, utilizando la fórmula:

$$P_{HP} = \frac{T \times n}{7120,91} \dots \dots \dots [7]$$

Donde:

- T = Torque
- n = Revoluciones por minuto del motor

Para esto primero se calcula el Torque:

$$T = F \times d \dots\dots\dots [8]$$

Donde:

$-F =$ Fuerza $\langle N \rangle$

$-d =$ Distancia que recorre $\langle m \rangle$

El material que se va a utilizar va a ser aluminio por su menor peso, por lo tanto:

$$\text{Densidad del Aluminio} = 2698,4 \langle kg/m^3 \rangle = 2,6894 \langle g/cm^3 \rangle \dots\dots\dots [9]$$

Para hallar la masa de los componentes de la cortadora de vidrio se utilizó el comando de las propiedades físicas en SolidWorks. Por lo tanto, se llega a la tabla 4.2: [25]

Tabla 3.4 Valores de Volúmenes y Masas de los Componentes de la M.C.V.

CANTIDAD	COMPONENTE	VOLUMEN (CM ³)	MASA (G)
2	<i>Soporte del motor 1.5 cm</i>	1404.32	3776.778208
2	<i>Soporte del motor 2 cm</i>	10077.88	27103.45047
2	<i>Varilla de movimiento 60 cm</i>	389.56	1047.682664
2	<i>Varilla de movimiento 37 cm</i>	241.9	650.56586
4	<i>Soporte de Varilla</i>	709.6	1908.39824
2	<i>Capa del Motor</i>	178.16	479.143504
1	<i>Soporte del Láser</i>	165.76	445.794944
1	<i>Láser</i>	84.07	226.097858
2	<i>Piñon 2.5 cm</i>	31.78	85.469132
2	<i>Piñon 3 cm</i>	32.56	87.566864
1	<i>Faja 63.66 cm</i>	52.71	141.758274
1	<i>Faja 97.66 cm</i>	120.52	324.126488
TOTAL			36276.83251
Densidad del Aluminio		2.6894 g/cm³	

Fuente: Elaboración propia en Excel (2015)

Entonces:

$$\rightarrow \text{Masa de la Varilla} = 514,0452 \langle g \rangle = 0,5140 \langle kg \rangle$$

$$\rightarrow \text{Peso de la Varilla} = 5,0423 \langle N \rangle$$

En conclusión,

$$\rightarrow \text{El torque del motor} = F \times d = 5,0423 \langle N \rangle \times 0,48 \langle m \rangle = 2,4203 \langle N \times m \rangle \dots \dots \dots [10]$$

Luego se considera un tiempo de movimiento de la cortadora de 10 segundos de un extremo a otro:

$$\rightarrow \text{Tiempo de desplazamiento} = 10 \langle s \rangle$$

$$\rightarrow \text{Frecuencia de desplazamiento} = 1/10 \langle s \rangle = 0,1 \langle rad \rangle$$

$$\rightarrow \text{Velocidad angular} [\omega = 2\pi \times f] = 0,6283 \langle rad / s \rangle = 6 \langle rpm \rangle \dots \dots \dots [11]$$

Ahora con los datos necesarios se hallará la potencia del motor 1 en HP con la fórmula mencionada anteriormente:

Por lo tanto:

$$\rightarrow \text{La potencia del motor} = (2,4203 \langle N \times m \rangle \times 6 \langle rpm \rangle / 7120,91) = 0,0020 \langle HP \rangle \dots \dots [12]$$

$$\rightarrow \text{Potencia en Watts} = 1/10 \langle s \rangle = 1,4914 \langle watts \rangle \dots \dots \dots [13]$$

Cálculo de la potencia del motor DC 2 en HPs:

El control de movimiento de la base de la maquina cortadora de vidrio se hace con el motor eléctrico 2, por lo que primero se calcula la potencia del motor 2 en caballos de fuerza, utilizando la fórmula:

$$P_{HP} = \frac{T \times n}{7120,91} \dots\dots\dots [14]$$

Donde:

- T = Torque

- n = Revoluciones por minuto del motor

Para esto primero se calcula el Torque:

$$T = F \times d \dots\dots\dots [15]$$

Donde:

- F = Fuerza $\langle N \rangle$

- d = Distancia que recorre $\langle m \rangle$

El material que se va a utilizar va a ser aluminio por su menor peso, por lo tanto:

$$\text{Densidad del Aluminio} = 2698,4 \langle kg/m^3 \rangle = 2,6894 \langle g/cm^3 \rangle$$

Para hallar la masa de los componentes de la cortadora de vidrio se utiliza el comando de las propiedades físicas en SolidWorks. Por lo tanto, de la tabla 3.4,

$$\rightarrow \text{Masa de la varilla} = 72,263 \langle g \rangle = 0,072 \langle kg \rangle$$

$$\rightarrow \text{Peso de la varilla} = 8,932 \langle g \rangle = 0,709 \langle N \rangle$$

En conclusión,

$$\rightarrow \text{El torque del motor} = F \times d = 0,709 \langle N \rangle \times 0,58 \langle m \rangle = 0,411 \langle N \times m \rangle \dots\dots\dots [16]$$

Luego se considera un tiempo de movimiento de la cortadora de 5 segundos de un extremo a otro:

- Tiempo de desplazamiento = $5 \langle s \rangle$
- Frecuencia de desplazamiento = $1/5 \langle s \rangle = 0,2 \langle rad \rangle$
- Velocidad angular $[\omega = 2\pi \times f] = 1,2566 \langle rad / s \rangle = 12 \langle rpm \rangle \dots \dots \dots [17]$

Ahora con los datos necesarios se hallará la potencia del motor 2 en HP con la fórmula mencionada anteriormente. Por lo tanto:

- La potencia del motor = $(0,015 \langle N \times m \rangle \times 30 \langle rpm \rangle) / 7120,91 = 6,319 \times 10^{-5} \langle HP \rangle \dots \dots [18]$
- Potencia en Watts $\langle W \rangle = 0,0471 \langle W \rangle$

3.1.2 Diseño de la parte electrónica de la M.C.V.

Para el diseño de la parte electrónica de la máquina cortadora de vidrio se utilizó el software de Proteus, Arduino y Fritzing

Soporte de Proteus

Proteus es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, desarrollado por Labcenter Electronics que consta de los dos programas principales: Ares e Isis, y los módulos VSM y Electra.

ISIS

El Programa ISIS, Intelligent Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o micro controlador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

El módulo VSM

Una de las prestaciones de Proteus, integrada con ISIS, es VSM, el Virtual System Modeling (Sistema Virtual de Modelado), una extensión integrada con

ISIS, con la cual se puede simular, en tiempo real, con posibilidad de más rapidez; todas las características de varias familias de micro controladores, introduciendo nosotros mismos el programa que controlará el micro controlador y cada una de sus salidas, y a la vez, simulando las tareas que queremos que lleve a cabo con el programa. Se pueden simular circuitos con micro controladores conectados a distintos dispositivos, como motores, lcd's, teclados en matriz, etc. Incluye, entre otras, las familias de PIC's PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 y dsPIC33. ISIS es el corazón del entorno integrado PROTEUS. Combina un entorno de diseño de una potencia excepcional con una enorme capacidad de controlar la apariencia final de los dibujos.

ARES

ARES, o Advanced Routing and Editing Software (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficial (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

A continuación en la Figura 3.28 se muestra el circuito de control de giro del motor simulado en Proteus:

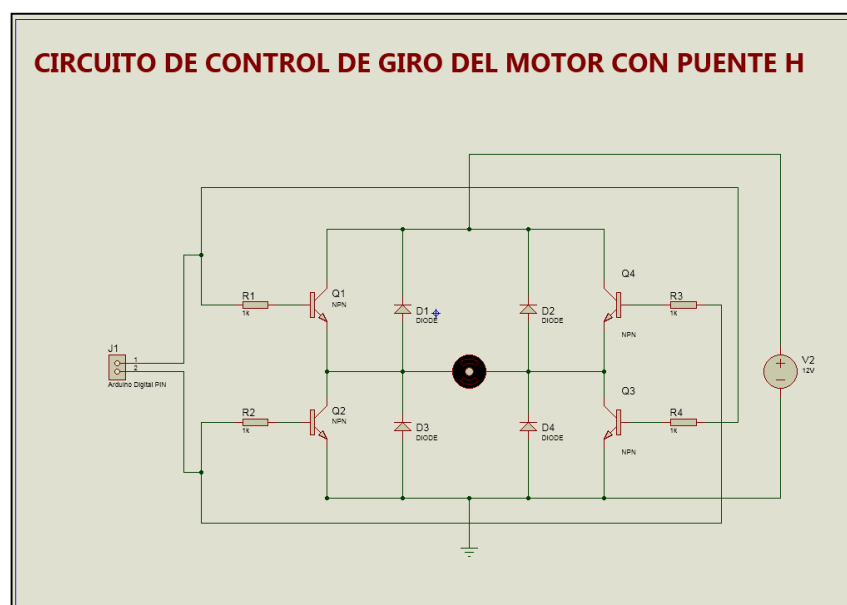


Figura 3.28 Circuito de control del giro del motor con puente H
Fuente: Propia. Simulación en Proteus.

Los componentes que se utilizaron para el circuito son los siguientes:

- 4 diodos rectificadores 12F10B
- 4 transistores BJT NPN 2N2222
- 4 resistencias de $1k\Omega$ / $1/2W$
- Una fuente de batería de 12 voltios / 2A
- 1 motor DC
- El módulo de Arduino
- Cables eléctricos UTP

En la Figura 3.29 se muestran las entradas y salidas que se aplican al motor para cambiar su sentido de giro. [26]

Entradas		Polaridad	
A	B	A	B
0	0	0	0
0	1	-	+
1	0	+	-
1	1	0	0

Figura 3.29 Entradas y Polaridades A y B para el control del motor
Fuente: Unicrom. Polaridades del control del motor (2015)

Especificaciones del Arduino

En la Figura 3.30 y 3.31 se muestran algunas especificaciones del hardware de Arduino.

Modelo	Microcontrolador	Voltaje de entrada	Voltaje del sistema	Frecuencia de Reloj	Digital I/O
Arduino Due	AT91SAM3X8E	5-12V	3.3V	84MHz	54*
Arduino Leonardo	ATmega32U4	7-12V	5V	16MHz	20*
Arduino Uno - R3	ATmega328	7-12V	5V	16MHz	14
RedBoard	ATmega328	7-15V	5V	16MHz	14

Figura 3.30 Especificaciones de algunas de las placas de Arduino
Fuente: Noble, J. Especificaciones (2015)

Modelo	Entradas Analógicas	PWM	UART	Memoria Flash	Cargador	Interfaz de Programación
Arduino Due	12	12	4	512Kb	Due	Nativa USB
Arduino Leonardo	12	7	1	32Kb	Leonardo	Nativa USB
Arduino Uno - R3	6	6	1	32Kb	Optiboot	USB via ATmega16U2
RedBoard	6	6	1	32Kb	Optiboot	USB via FTDI

Figura 3.31 Especificaciones de algunas de las placas de Arduino
Fuente: Noble, J. Especificaciones (2015)

En la Figura 3.32 se muestra la conexión electrónica del circuito de control de giro de un motor DC al módulo de Arduino utilizando el software de Fritzing.

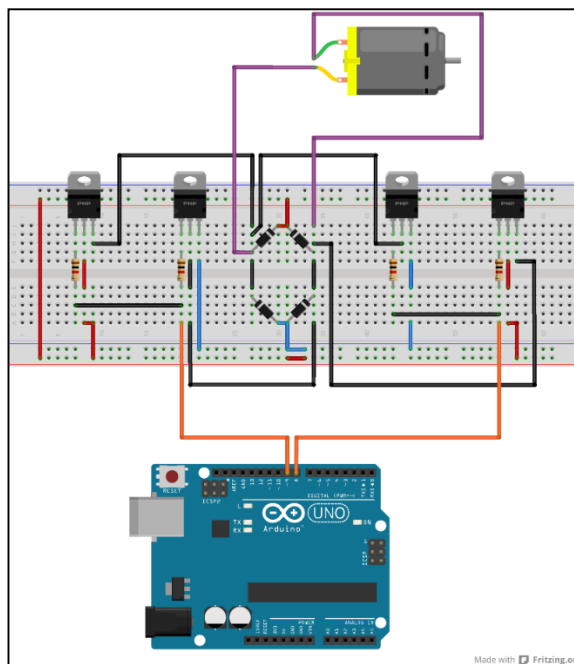


Figura 3.32 Conexiones del circuito de control de giro del motor al ARDUINO
Fuente: Elaboración propia en Fritzing (2015)

En la Figura 3.33. se muestra la conexión electrónica del circuito de control de giro de dos motores DC al módulo de Arduino utilizando el software de Fritzing

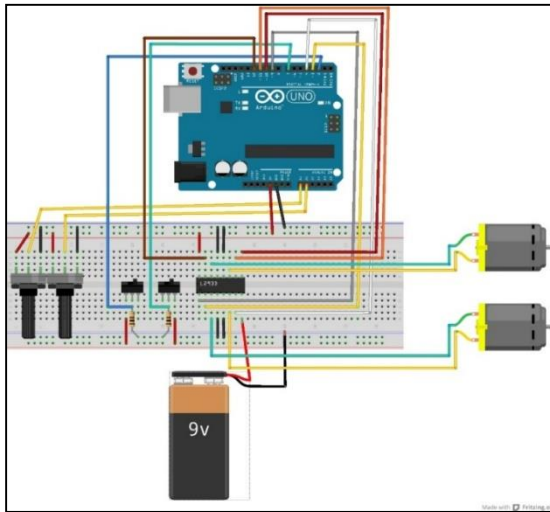


Figura 3.33 Conexiones del circuito de control de giro de 2 motores al ARDUINO
Fuente: Elaboración propia en Fritzing (2015)

Selección de la estrategia de control de la máquina cortadora de vidrio

Luego de analizar los distintos tipos de control de la máquina cortadora de vidrio, se opta por utilizar el PLC y Arduino. A continuación se explica la estrategia seleccionada.

En la Figura 3.34 se muestra el Diagrama de escalera para controlar un motor DC. Las variables que se utilizan para el control son:

- Variable START (A, B)
- Variable STOP

El programa de la primera línea significa que para el giro del motor a la derecha se necesita un pulsador “A” que se encarga de ejecutar el programa, mientras que en la segunda línea, el giro del motor es a la izquierda y también se necesita otro pulsador “B” para la ejecución del programa. Para ambos casos se necesita otro pulsador “STOP” que funciona como dispositivo de seguridad para parar el programa ejecutado.

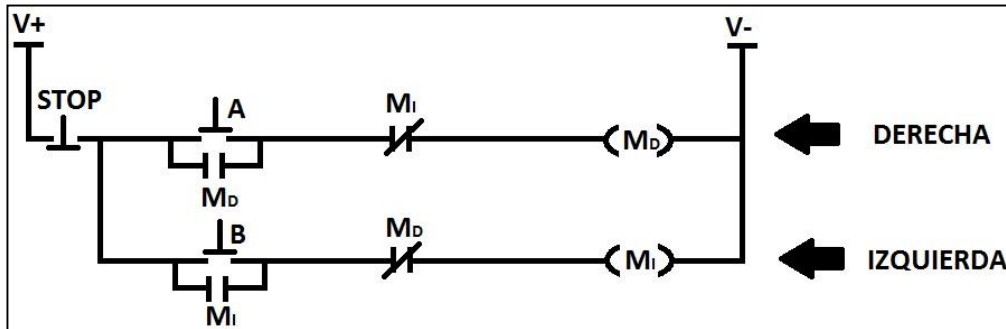


Figura 3.34 Diagrama de escalera para el control de giro de un motor DC
 Fuente: Elaboración propia en paint (2015)

En la Figura 3.35 se muestra el Diagrama general de control con los 2 motores acoplados.

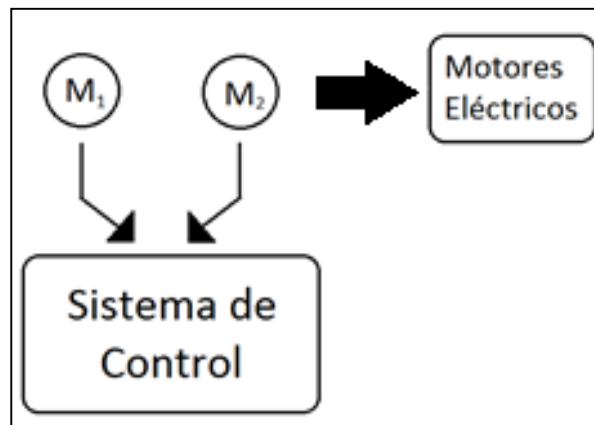


Figura 3.35 Diagrama general de Control
 Fuente: Elaboración propia en paint (2015)

En la Figura 3.36 se muestra una transportadora de objetos con 2 sensores de posición y 1 motor de giro.

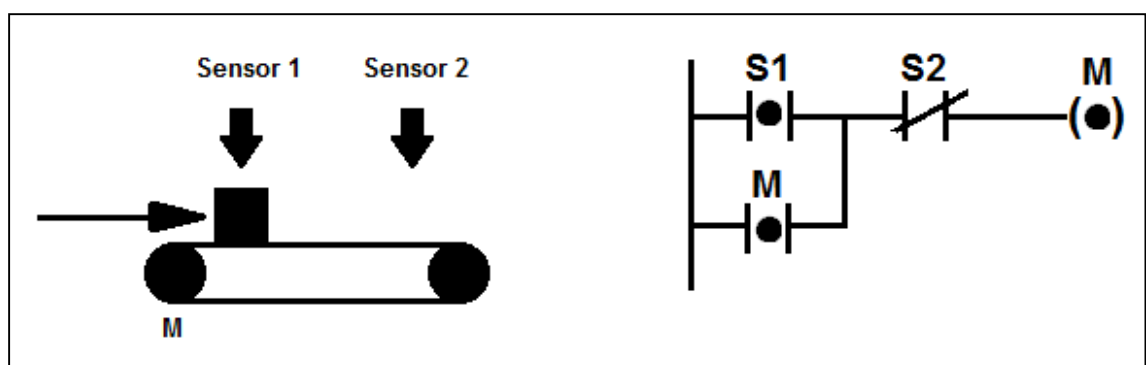


Figura 3.36 Transportadora de objetos.
 Fuente: Elaboración propia en paint (2015)

3.1.3 Diseño de la parte eléctrica de la M.C.V.

Controlador de la Máquina Cortadora de Vidrio

En primer lugar, se realiza el circuito de control del arranque y paro simple del motor 1 como se muestra en el Diagrama de la figura 3.37:

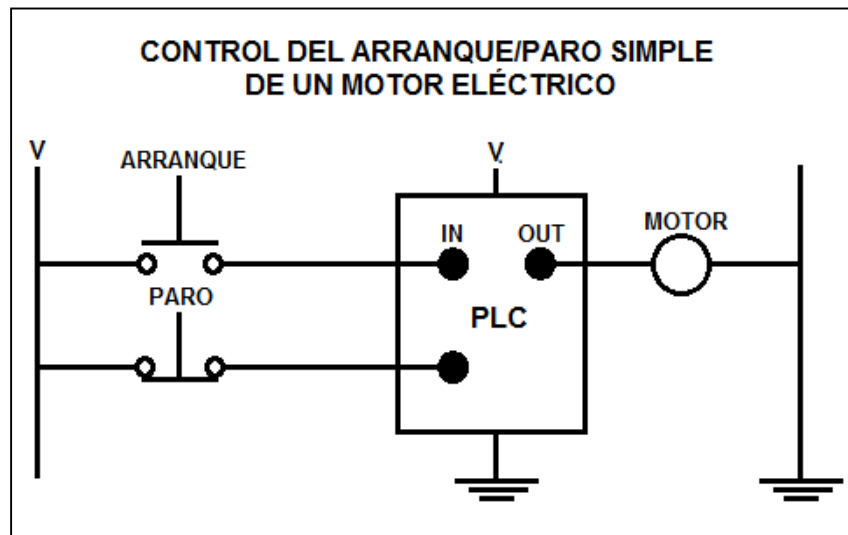


Figura 3.37 Circuito de control del arranque/paro simple del motor eléctrico 1
Fuente: Elaboración propia (2015)

En esta etapa se va a poner en funcionamiento un motor eléctrico de manera simple, para ello se necesitarán dos botones, uno para que arranque el motor y otro para que éste pare. Además, un contactor con el cual proporcionará energía al motor mediante la activación de la bobina del contactor.

En segundo lugar, se realizará el diagrama eléctrico para el control de 2 motores eléctricos con arranque con secuencia, como se muestra en la Figura 3.38.

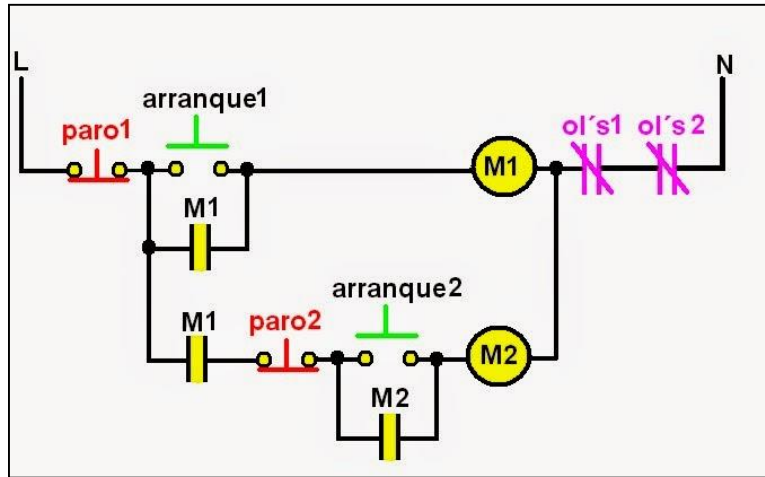


Figura 3.38 Circuito de control de 2 motores con arranque con secuencia
Fuente: Comparaman. Control de 2 motores eléctricos con arranque con secuencia (2015)

En tercer lugar, se creará su respectivo Diagrama de flujo como se muestra en la Figura 3.39:

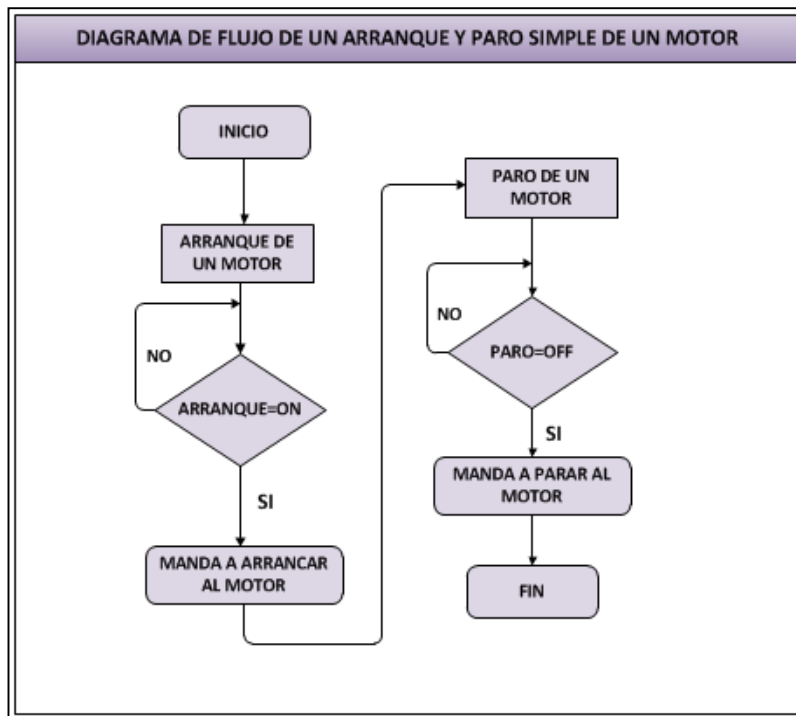


Figura 3.39 Diagrama de flujo de un arranque/paro simple de un motor
Fuente: Control con PLC Diagrama de flujo del arranque del motor (2015)

Una vez que se ha hecho el Diagrama de flujo para la programación del control del motor en el PLC, el siguiente paso a realizar es la programación en lógica escalera, la cual queda como se muestra a continuación en la Figura 3.40.

Como la programación de lógica escalera que se ha utilizado es universal. Entonces para programar un PLC de alguna marca se necesita utilizar la sintaxis para escribirla correctamente. Además se debe direccionar las entradas y salidas del PLC para que el control trabaje correctamente.

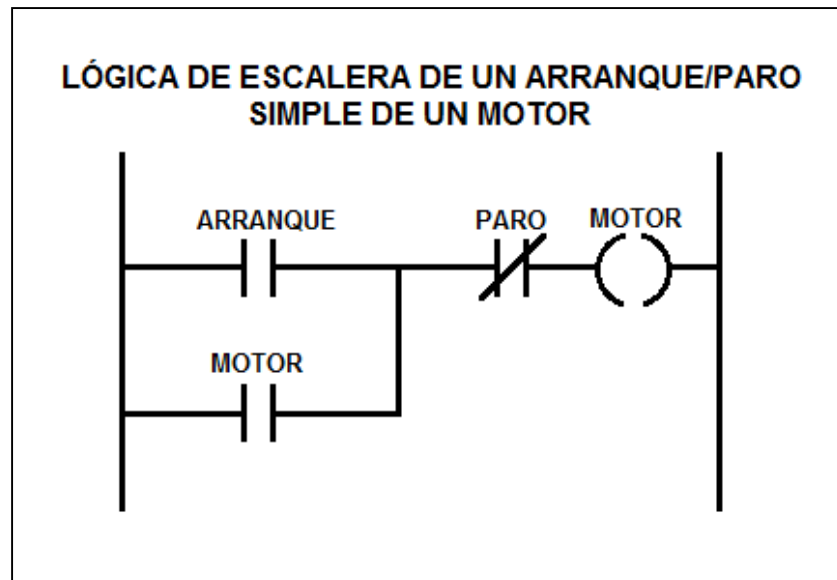


Figura 3.40 Lógica de escalera de un arranque/paro simple de un motor
Fuente: Elaboración propia (2015)

3.1.4 Simulación de la M.C.V.

Respuestas de las Variables de la Máquina cortadora de Vidrio

Para la simulación de las respuestas del control de giro del motor se utiliza el software de MatLAB y para el funcionamiento del PLC se utiliza el software de PROSYS.

Soporte de MatLAB

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

A continuación se muestra un esquema de los componentes que actúan en el control del motor DC en la Figura 3.41 considerando los siguientes datos de la ecuación 4.9:

$$K_t = 0,02 \cdot N \cdot m / A \dots\dots\dots [19]$$

$$K_b = 0,22 \cdot V / rad / s \dots\dots\dots [20]$$

$$R = 1\Omega \dots\dots\dots [21]$$

$$L = 0,2H \dots\dots\dots [22]$$

$$I_l = 0,005 \text{ kg} \cdot m^2 \dots\dots\dots [23]$$

Donde:

– R = Resistencia eléctrica $\langle \Omega \rangle$

– L = Resistencia magnética $\langle H \rangle$

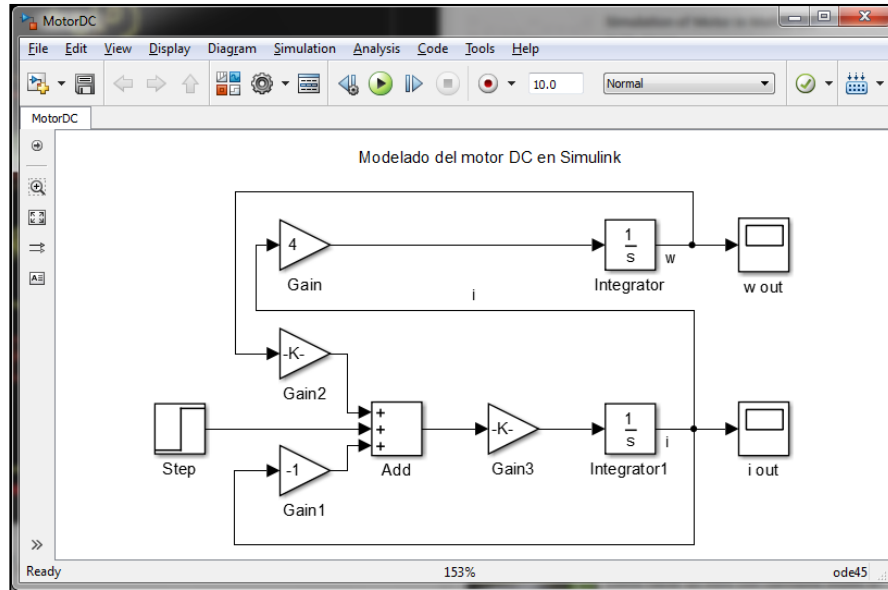


Figura 3.41 Modelado del motor en Simulink
Fuente: Elaboración propia en MatLAB (2015)

Después del diseño del sistema de control de movimiento del motor DC en Simulink se muestran los resultados de los registradores de onda en las siguientes 2 figuras:

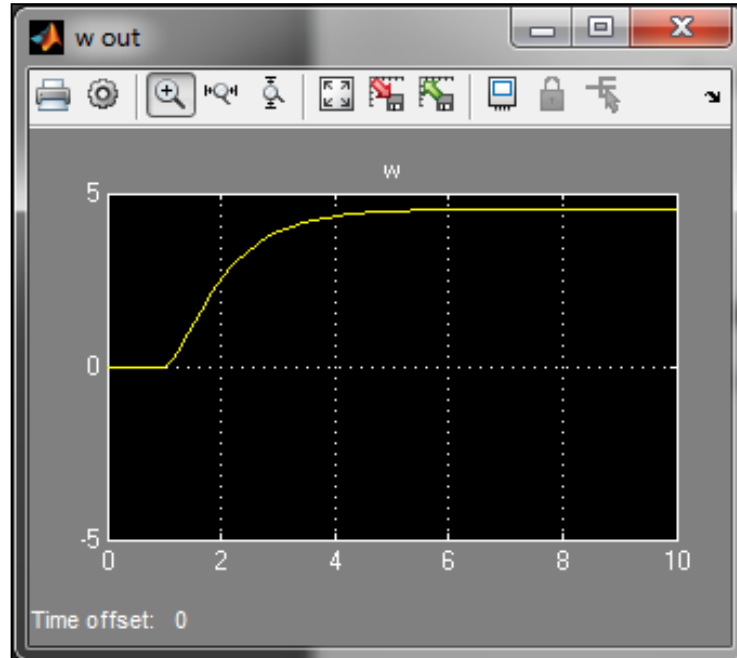


Figura 3.42 Gráfica de la salida de la velocidad angular.
Fuente: Elaboración propia en MatLAB (2015)

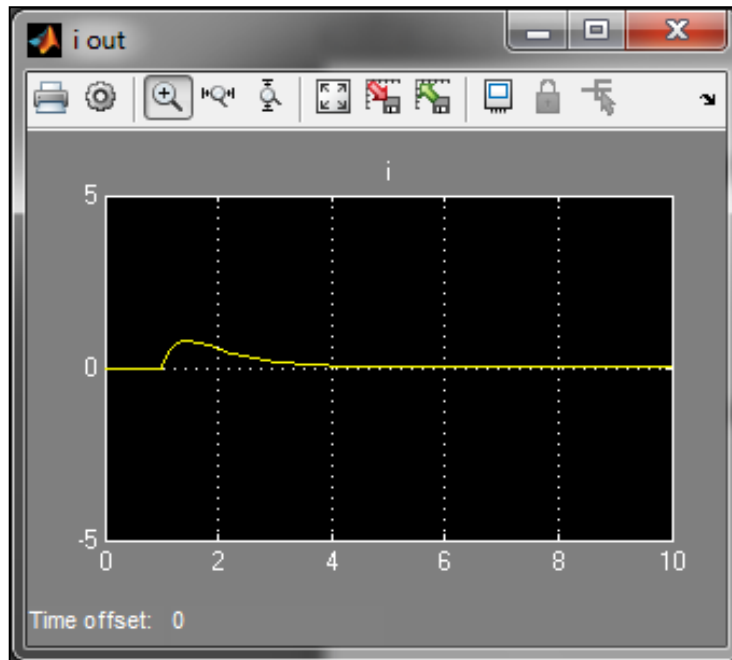


Figura 3.43 Gráfica de la salida de la corriente.
Fuente: Elaboración propia en MatLAB (2015)

En la Figura 3.44, las funciones básicas que se utilizan para el control del control de giro del motor son las compuertas AND, OR y el inversor NOT.


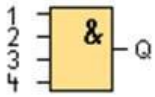

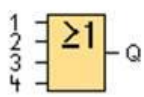

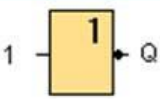
Representación en el circuito eléctrico	Representación en LOGO!	Designación de la función básica
Conexión en serie contacto normalmente abierto. 		AND (AND)
Conexión en paralelo contacto normalmente abierto 		O (OR)
Contacto cerrado. 		INVERSOR (NOT)

Figura 3.44 Tabla de las variables utilizadas
Fuente: Carlos, P. Automatización. (2015)

Soporte de PROSYS

PROSYS es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC. Además de servir como interfaz para poder cargar el programa realizado a la memoria de carga del PLC, por medio de módulos se puede simular el programa y monitorearlo en tiempo real desde la computadora.

Para tener una mayor comprensión del trabajo realizado, a continuación se muestra la simulación del programa. Los valores de que se dieron a los sensores T37, T38, T39, T40 se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Tabla de las variables utilizadas

SENSOR	TIPO
• T37	• TON
• T38	• TON
• T39	• TON
• T40	• TON

Fuente: Elaboración propia en Excel (2015)

En La Figura 3.45 se muestra La pantalla de simulación del PROSYS “SCADA View” con los valores de entrada y salida del sistema.

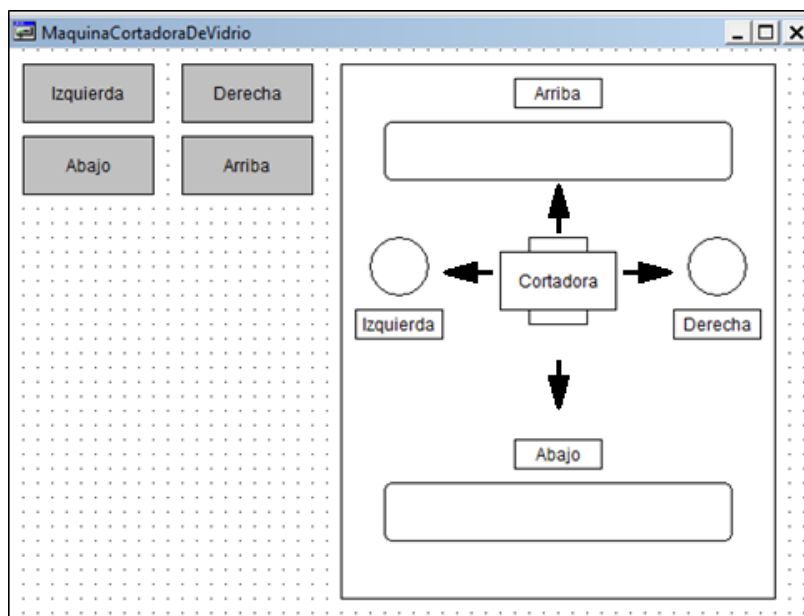


Figura 3.45 SCADA del sistema de control de la máquina cortadora de vidrio

Fuente: Elaboración propia en PROSYS (2015)

En el programa OB1 se puede observar el estado de las marcas, funciones, entradas y salidas mientras se está ejecutando la simulación. La Figura 3.46 muestra el programa, que es la comparación de temporizadores para obtener las variables de salida del controlador lógico clásico (0001, 0002, 0003 y 0004)

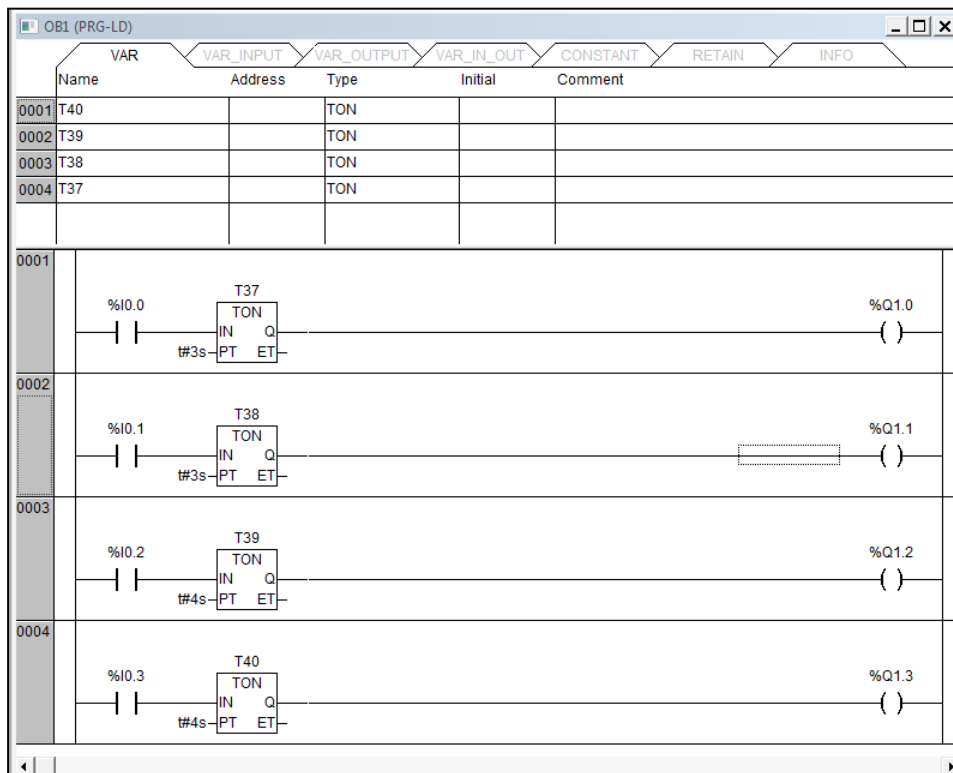


Figura 3.46 Lenguaje ladder de la programación de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en PROSYS (2015)

Sistema de variables de PROSYS

Para la simulación en PROSYS, se asigna en el programa un PLC Siemens S7-200 de 8 pines, con 4 entradas analógicas y 4 salidas analógicas:

- La entrada %I0.0 indica el switch 1 del PLC Siemens S7-200
- La entrada %I0.1 indica el switch 2 del PLC Siemens S7-200
- La entrada %I0.2 indica el switch 3 del PLC Siemens S7-200
- La entrada %I0.3 indica el switch 3 del PLC Siemens S7-200
- La salida %Q0.0 indica el movimiento de la cortadora a la izquierda.
- La salida %Q0.1 indica el movimiento de la cortadora a la derecha.
- La salida %Q0.2 indica el movimiento de la cortadora hacia arriba.

- La salida %Q0.3 indica el movimiento de la cortadora hacia abajo.

Cada vez que se colorea de verde el área marcada de la mesa cortadora en el SCADA, mostrará la posición actual de la cortadora.

3.1.5 Desarrollo de la parte de control de la M.C.V.

3.1.5.1 Desarrollo del modelo de control

Diagrama del sistema de control del M_1 (motor 1) = Lazo cerrado

En la figura 3.47 se muestra el primer diagrama de control de la máquina cortadora de vidrio. Para el primer motor, su diagrama consta de una señal de entrada y de otra señal de salida.

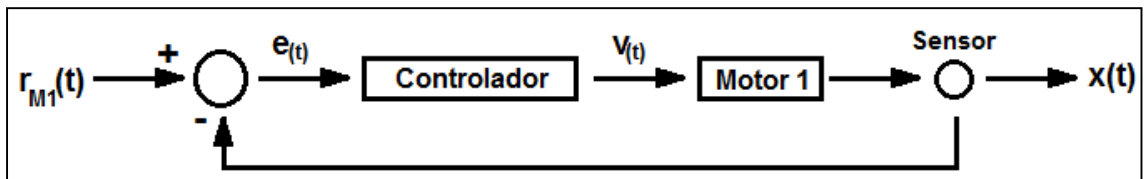


Figura 3.47 Diagrama del sistema de control del motor 1
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Descripción del motor 1:

- **Controlador** : Arduino
- **Sensor** : Ultrasonido
- **$r_{M1}(t)$** : Variable de entrada
- **$x(t)$** : Variable de salida

Diagrama del sistema de control del M_2 (motor 2) = Lazo cerrado

En la figura 3.48 se muestra el segundo diagrama de control de la máquina cortadora de vidrio. Para el segundo motor, su diagrama consta igualmente de una señal de entrada y de otra señal de salida



Figura 3.48 Diagrama del sistema de control del motor 2
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Descripción del motor 2:

- **Controlador** : Arduino
- **Sensor** : Ultrasonido
- **$r_{M2}(t)$** : Variable de entrada
- **$y(t)$** : Variable de salida

Diagrama de control (sistema=MIMO)

En la figura 3.49 se muestra el diagrama de control integrado de la máquina cortadora de vidrio. Para la unión de ambos motores, su diagrama está compuesto de 2 señales de salida y dos señales de entrada.

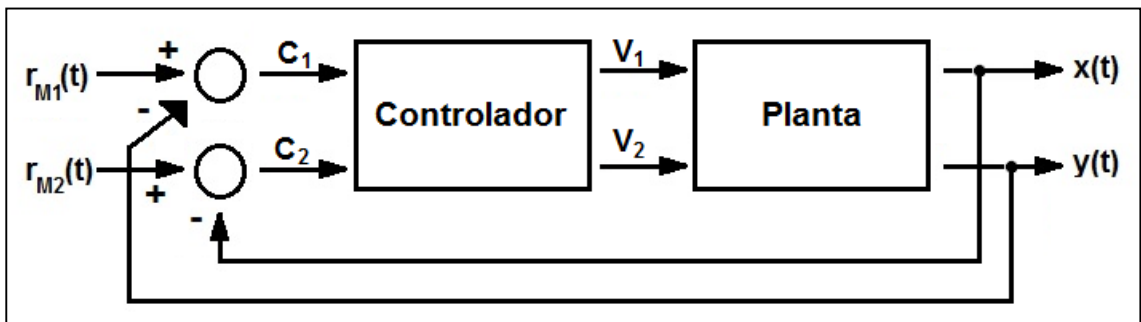


Figura 3.49 Diagrama del control integrado
Fuente: Elaboración propia en Paint (2015)

Descripción del diagrama de control del motor 1:

El controlador acciona el motor a velocidad constante verificando a posición final. Cuando se alcanza la posición final X, el control corta el voltaje.

Descripción del diagrama de control del motor 2:

El controlador acciona el motor a velocidad constante verificando a posición final. Cuando se alcanza la posición final Y, el control corta el voltaje.

3.1.5.2 Desarrollo de los programas

Para realizar la programación de los motores DC para el control del movimiento de la máquina cortadora de vidrio, se inició con el programa del movimiento de un solo motor DC, presentado a continuación:

En el siguiente fragmento de código, se declaran las variables iniciales de entrada y salida del programa:

```
//Código para el giro del motor con puente H
int LeftPin=8; //Pines de salida del Arduino
int RightPin=9;
int input=0;
void setup(){
    Serial.begin(9600);
    pinMode(LeftPin, OUTPUT);
    pinMode(RightPin, OUTPUT);
}
```

A continuación, con el siguiente fragmento de código, se declaran las condiciones de giro del motor en sentido horario:

```
void loop(){
    if (Serial.available()){
        if (input=='1'){ //El motor girará a la derecha
            digitalWrite(LeftPin, LOW);
            digitalWrite(RightPin, HIGH);
        }
    }
}
```


Luego, con el siguiente fragmento de código, se declaran las condiciones de giro del motor en sentido antihorario:

```
else if (input=='2'){ //El motor girará a la izquierda
digitalWrite(LeftPin, HIGH);
digitalWrite(RightPin, LOW);
}
```

Finalmente, el siguiente fragmento de código, declara la última condición del motor, cuando éste se detiene:

```
else if (input=='0'){ //El motor se detendrá
digitalWrite(LeftPin, LOW);
digitalWrite(RightPin, LOW);
}
delay(10);
}
}
```

Luego de comprobar que el programa inicial funciona, se crea el programa para el control de movimiento de dos motores DC de la máquina cortadora de vidrio, utilizando el integrado L293D. Antes de continuar con el programa, se define el integrado L293D:

¿Qué es el integrado L293D?

El **L293D** es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 600mA por canal y puede soportar picos de hasta 1.2 A. Cada canal es controlado por señales TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación para conectar o desconecta las salidas de los mismos.

A continuación en la figura 3.50 se muestra el Data Sheet del integrado L293D:

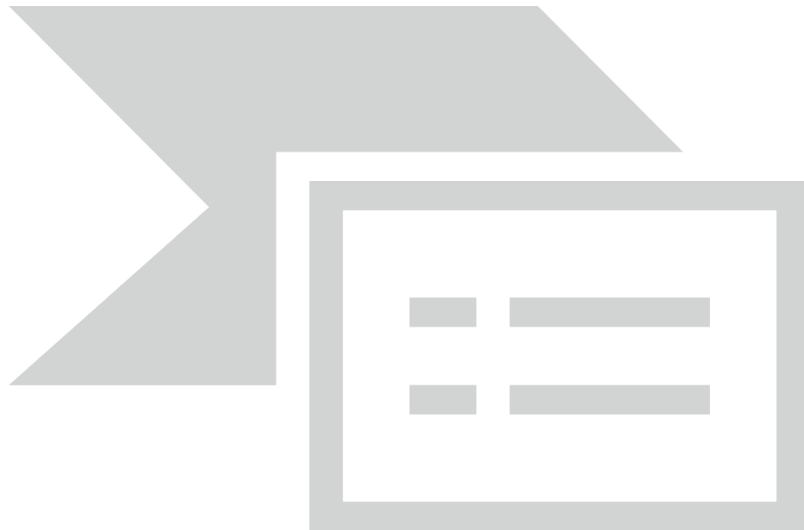


Figura 3.50 Data Sheet del integrado L293D
Fuente: Texas Instruments. (2015)

Luego, en la figura 3.51 se muestra la conexión de los dos motores a los pines del integrado L293D:



Figura 3.51 Conexiones de los motores a los pines del integrado L293D

Fuente: Texas Instruments. (2015)

Para el desarrollo del programa con dos motores, primero se declaran las entradas y variables de los componentes:

```
// Control de 2 motores DC con Arduino y L293D utilizando el
PWM
// switch input (Entrada del Interruptor)
#define switchPin 2
// switch2 input (Entrada del Interruptor)
#define switchPin2 7
// L293D Input 1 (Entrada 1 del L293D)
#define motorPin1 3
// L293D Input 2 (Entrada 2 del L293D)
#define motorPin2 4
// L293D Input 3 (Entrada 3 del L293D)
#define motorPin3 11
// L293D Input 4 (Entrada 4 del L293D)
#define motorPin4 12
// L293D enable Pin 2 (Activar el Pin 2 del L293D)
#define speedPin 9
// L293D enable Pin 3 (Activar el Pin 3 del L293D)
#define speedPin2 10
// Potentiometer on Analog Pin 0 (Potenciómetro en el pin
análogo 0)
#define potPin 0
// Potentiometer on Analog Pin 1 (Potenciómetro en el pin
análogo 1)
#define potPin2 1
```

Luego se asignan valores de velocidad del motor:

```
// a Variable to hold the current speed value (Variable para
mantener el valor actual de la velocidad)
int Mspeed = 0;
// a Variable to hold the current speed value (Variable para
mantener el valor actual de la velocidad)
int Mspeed2 = 0;
void setup() {
```

Con el siguiente fragmento de código se definen que pines son entradas y que otros son salidas:

```
//set switch pin as INPUT (Colocar el pin del interruptor
como entrada)
pinMode(switchPin, INPUT);
pinMode(switchPin2, INPUT);
// set remaining pins as outputs (Colocar los demas pines del
interruptor como salidas)
pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);
pinMode(motorPin3, OUTPUT);
pinMode(motorPin4, OUTPUT);
pinMode(speedPin, OUTPUT);
pinMode(speedPin2, OUTPUT);
}
void loop() {
```

Luego se asignan valores de velocidad del motor y se graba en la memoria del Arduino:

```
// read the speed value from the potentiometer (Leer el valor
de la velocidad del potenciómetro)
Mspeed = analogRead(potPin)/4;
// write speed to Enable 1 pin (Permitir la grabación de la
velocidad al pin 1)
analogWrite(speedPin, Mspeed);
```

A continuación se asignan condiciones al interruptor y a las entradas para que , a la salida, el motor gire:

```
// If the switch is HIGH, rotate motor clockwise (Si el
interruptor esta en Alto, el motor rota en sentido horario)
if (digitalRead(switchPin)) {
// set Input 1 of the L293D low (Colocar la entrada 1 al
estado bajo del L293)
digitalWrite(motorPin1, LOW);
// set Input 2 of the L293D high (Colocar la entrada 2 al
estado alto del L293D)
digitalWrite(motorPin2, HIGH);
```

```

}
// If the switch is HIGH, rotate motor anti-clockwise (Si el
interruptor esta en Alto, el motor rota en sentido anti-
horario)
else {
// set Input 1 of the L293D low (Colocar la entrada 2 estado
bajo del L293D)
digitalWrite(motorPin1, HIGH);
// set Input 3 of the L293D high (Colocar la entrada 3 al
estado alto del L293D)

```

Se graban las ordenes realizadas y se realiza el mismo procedimiento con los demás pines:

```

digitalWrite(motorPin2, LOW);
}
Mspeed2 = analogRead(potPin2)/4;
// write speed to Enable 2 pin (Permitir la grabación de la
velocidad al pin 2)
analogWrite(speedPin2, Mspeed2);
// If the switch is HIGH, rotate motor clockwise (Si el
interruptor esta en Alto, el motor rota en sentido horario)
if (digitalRead(switchPin2)) {
// set Input 3 of the L293D low (Colocar la entrada 3 al
estado bajo del L293D)
digitalWrite(motorPin3, LOW);
// set Input 4 of the L293D high (Colocar la entrada 4 al
estado alto del L293D)
digitalWrite(motorPin4, HIGH);
}
// If the switch is LOW, rotate motor anti-clockwise (Si el
interruptor esta en Bajo, el motor rota en sentido anti-
horario)
else {
// set Input 3 of the L293D low (Colocar la entrada 3 al
estado bajo del L293D)
digitalWrite(motorPin3, HIGH);
// set Input 4 of the L293D high (Colocar la entrada 4 al
estado alto del L293D)
digitalWrite(motorPin4, LOW);
}

```

}

La estrategia de control utilizando motores, sensores, Arduino y PLC evita los problemas de mantenimiento porque el PLC no lo necesita y la utilización de sensores de ultrasonido permite detectar la posición de la cortadora activando los motores para que este se mueva.

El Sensor de Ultrasonido

Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. En primer lugar el sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. En último lugar, el sonido producido se refleja en un objeto, luego el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración.

Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido.

Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

Traducción de Tiempo a Distancia

Aprovechando que la velocidad de dicho ultrasonido en el aire es de valor 340 m/s, o 0,034 cm/microseg. (ya que trabajaremos con centímetros y microsegundos). Para calcular la distancia,

recordaremos que $v=d/t$ (definición de velocidad: distancia recorrida en un determinado tiempo).

De la fórmula anterior despejamos d , obteniendo $d=v \cdot t$, siendo v la constante anteriormente citada y t el valor devuelto por el sensor a la placa Arduino.

También habrá que dividir el resultado entre 2 dado que el tiempo recibido es el tiempo de ida y vuelta.

En la Figura 3.52 se aprecia el Arduino conectado al sensor de ultrasonido.

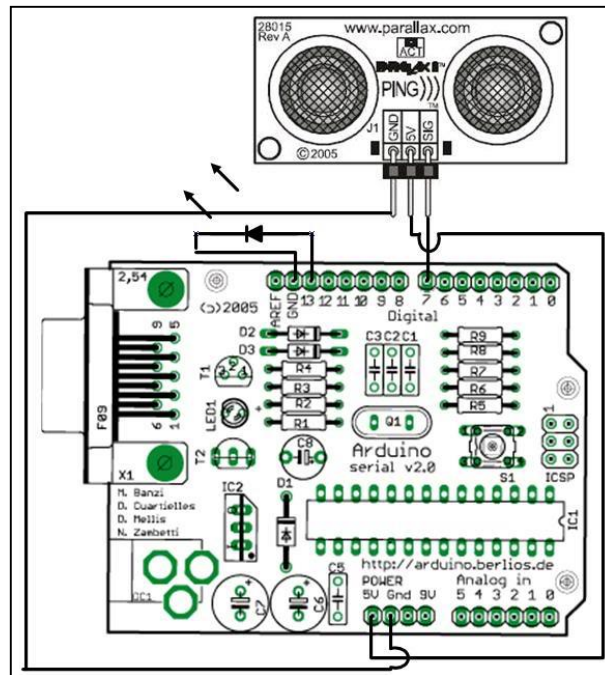


Figura 3.52 Data sheet del sensor de ultrasonido con Arduino
Fuente: Pesadillo. Sensor de ultrasonido (2015)

El sensor consta de 4 pines: "VCC" conectado a la salida de 5V de la placa, "Trig" conectado al pin digital de la placa encargado de enviar el pulso ultrasónico, "Echo" al pin de entrada digital que recibirá el eco de dicho pulso y "GND" a tierra.

A continuación, se muestra la programación de los sensores de ultrasonido utilizados en el equipo.

```

Código fuente del Sensor
/* Sensor de Ultrasonidos
*-----
* Lee valores (00014-01199) de un sensor de ultrasonidos
(hasta 3 metros)
* y escribe los valores en el puerto serie.
* http://www.xlab.se | http://www.0j0.org
* copleyleft 2005 Mackie for XLAB | DojoDave for DojoCorp
*/

int ultraSoundSignal = 7;           // PIN de señal de
ultrasonidos
int val = 0;                        // Variable auxillar
int ultrasoundValue = 0;           // Valor del senros de
ultrasonidos
int timecount = 0;                 // Contador del eco
int ledPin = 13;                   // LED conectado al PIN
13
void setup() {
  beginSerlal(9600);                // Configura la
velocidad al puerto serla 9600 baudios
  pinMode(ledPin, OUTPUT);         // Configura el PIN del
LED como salida digital.
}
void loo
p() {
  timecount = 0;
  val = 0;
  pinMode(ultraSoundSignal, OUTPUT); // Conmuta el PIN de
la señal a salida digital
/* Envía un pulso bajo-alto-bajo para lanzar el pulso de
activación del sensor
* -----
-----
*/
  digitalWrite(ultraSoundSignal, LOW); // Envía un pulso bajo
delayMicroseconds(2);              // Espera dos
microsegundos
  digitalWrite(ultraSoundSignal, HIGH); // Envía un pulso alto
delayMicroseconds(5);              // Espera 5 segundos
  digitalWrite(ultraSoundSignal, LOW); // Se queda en espera

```



```

/* En espera, escuchando el pulso de eco
* -----
*/
pinMode(ultraSoundSignal, INPUT); // Conmuta el PIN de
la señal a entrada digital
val = digitalRead(ultraSoundSignal); // Recoge el valor del
PIN de señal
while(val == LOW) { // Espera a que el PIN
de señal sea alto
val = digitalRead(ultraSoundSignal);
}
while(val == HIGH) { // Espera a que el
PIN de señal sea bajo
val = digitalRead(ultraSoundSignal);
timecount = timecount +1; // Cuenta el tiempo
que dura el pulso alto (amplitud)
}
/* Escribe los valores resuktantes en el puerto serie
* -----
*/

ultrasoundValue = timecount; // El contador es el
valor obtenido por el sensor

serlalWrite('A'); // Escribe en el
puerto serie el valor obtenido
printInteger(ultrasoundValue);
serlalWrite(10);
serlalWrite(13);
/* Enciende el LED si se ha recibido un pulso de eco
* -----
*/
if(timecount > 0){
digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
/* Delay del programa
* -----
*/
delay(100);
}

```


3.2 Análisis de costos

En este proyecto se realiza una simulación de un sistema de control de una máquina cortadora de vidrio, en la tabla 3.6 se muestra el presupuesto de la implementación de la máquina cortadora de vidrio:

Tabla 3.6 Presupuesto de la implementación de la máquina cortadora de vidrio

MATERIALES	PRECIO
<i>Aluminio</i>	<i>S/. 187.13</i>
<i>Pernos y tornillos</i>	<i>S/. 50.00</i>
<i>2 sensores de ultrasonido</i>	<i>S/. 200.00</i>
<i>Láser</i>	<i>S/. 50.00</i>
<i>Fajas</i>	<i>S/. 195.00</i>
<i>2 motores DC</i>	<i>S/. 60.00</i>
<i>Arduino uno</i>	<i>S/. 95.00</i>
<i>PLC Siemens S7-200</i>	<i>S/. 350.00</i>
<i>Fuente 12V/1A</i>	<i>S/. 50.00</i>
TOTAL	S/. 1,237.13

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

En comparación con otras tesis relacionadas al tema, mi tesis se basa en el diseño de un sistema de control de una máquina cortadora de vidrio, mediante PLC's.

A continuación, en la tabla compuesta 3.7 se muestra el costo del usuario de la máquina:

Tabla 3.7 Costos del usuario de la máquina cortadora de vidrio

AÑOS DE VIDA ÚTIL	MANTENIMIENTO
1 año	S/. 75.00
2 años	S/. 150.00
3 años	S/. 225.00
4 años	S/. 300.00
5 años	S/. 375.00
TOTAL	S/. 1,125.00

COSTOS DEL USUARIO	CANTIDAD
<i>Precio de la máquina cortadora de vidrio</i>	S/. 1,546.41
<i>Mantenimiento de los 5 años de vida útil</i>	S/. 1,125.00
<i>Repuestos durante 5 años</i>	S/. 100.00
TOTAL	S/. 2,771.41

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

En comparación con cortadoras eléctricas, en la tabla 3.8 el precio es:

Tabla 3.8 Costo de inversión de cortadoras eléctricas

RECURSOS	CANTIDAD
<i>Cortadora de vidrio eléctrica</i>	S/. 3,100.00
TOTAL	S/. 3,100.00

Fuente: Diseño propio en Excel (2016)

Luego en la tabla 3.9 se muestra la ganancia estimada para producirla en serie:

Tabla 3.9 Ganancias estimadas para la producción en serie de la máquina cortadora de vidrio

SÓLO DE LA M.C.V.		CANTIDAD		PARA PRODUCCIÓN EN SERIE		CANTIDAD	
<i>Precio de Costo</i>	S/. 1,237.13			<i>Máquina cortadora de vidrio</i>			S/. 1,546.41
<i>Ganancia (%)</i>	25%			<i>Publicidad</i>			S/. 1,500.00
<i>Ganancia</i>	S/. 309.28			<i>Gastos de transporte</i>			S/. 1,664.00
PRECIO DE VENTA	S/. 1,546.41			<i>Gastos de instalación</i>			S/. 250.00
				PRECIO DE COSTO TOTAL			S/. 4,960.41
				N° de SEMANAS DE VENTA ESTIMADAS AL MES	4	GASTOS EXTRA	S/. 3,414.00
SÓLO DE LA MÁQUINA CORTADORA DE VIDRIO							
VARIABLES - TIEMPO	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL	EN 5 AÑOS			
<i>Cantidad de máquinas</i>	1	1	12	60			
<i>Precio de venta (Cantidad)</i>	S/. 1,546.41	S/. 1,546.41	S/. 18,556.88	S/. 1,113,412.80			
<i>Ganancia</i>	S/. 309.28	S/. 309.28	S/. 17,319.75	S/. 1,112,175.68			
<i>Ganancia (%)</i>	25%	25%	25%	25%			
INCLUYENDO LOS DEMAS COSTOS							
VARIABLES - TIEMPO	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL	EN 5 AÑOS			
<i>Cantidad de máquinas</i>	1	1	12	60			
<i>Precio de venta (Cantidad)</i>	S/. 4,960.41	S/. 4,960.41	S/. 59,524.88	S/. 3,571,492.80			

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

Para recuperar lo que se invirtió al construir la máquina cortadora de vidrio se necesitaría 1 mes y 1 semana.

A continuación, en la tabla 3.10 se muestran los datos de costos y ganancias en una muestra de 5 años de ventas de la máquina cortadora de vidrio:

Tabla 3.10 Muestra de 5 años de la relación entre el costo y la ganancia de la implementación de la máquina cortadora de vidrio

VIDA ÚTIL	COSTO	GANANCIA	CANTIDAD DE MÁQUINAS
<i>1 año</i>	S/. 14,845.56	S/. 17,319.75	12
<i>2 años</i>	S/. 44,536.68	S/. 165,774.79	36
<i>3 años</i>	S/. 29,691.12	S/. 72,990.39	24
<i>4 años</i>	S/. 59,382.24	S/. 295,672.95	48
<i>5 años</i>	S/. 29,691.12	S/. 72,990.39	24

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

Finalmente, en las 2 siguientes figuras, la 3.53 y la 3.54 se muestran la gráfica de líneas y la gráfica de dispersión de la relación de costo y ganancia de la máquina cortadora de vidrio:

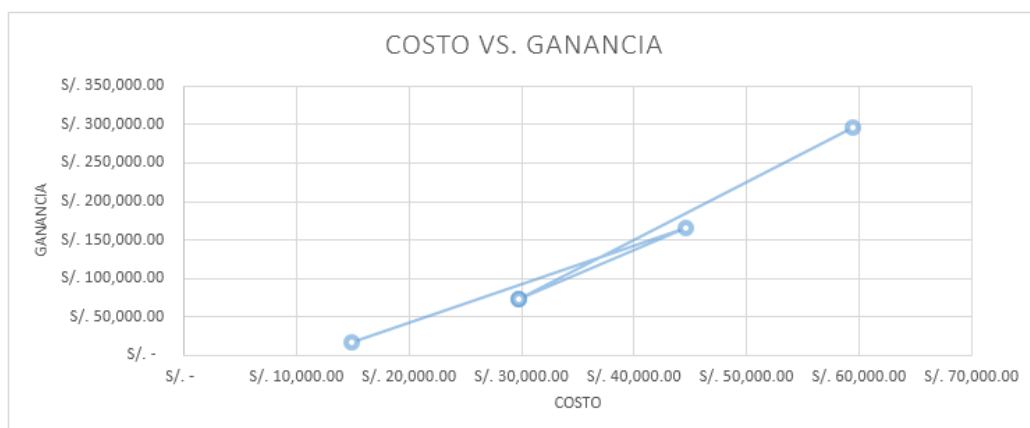


Figura 3.53 Gráfica de dispersión entre el costo y la ganancia de la implementación de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

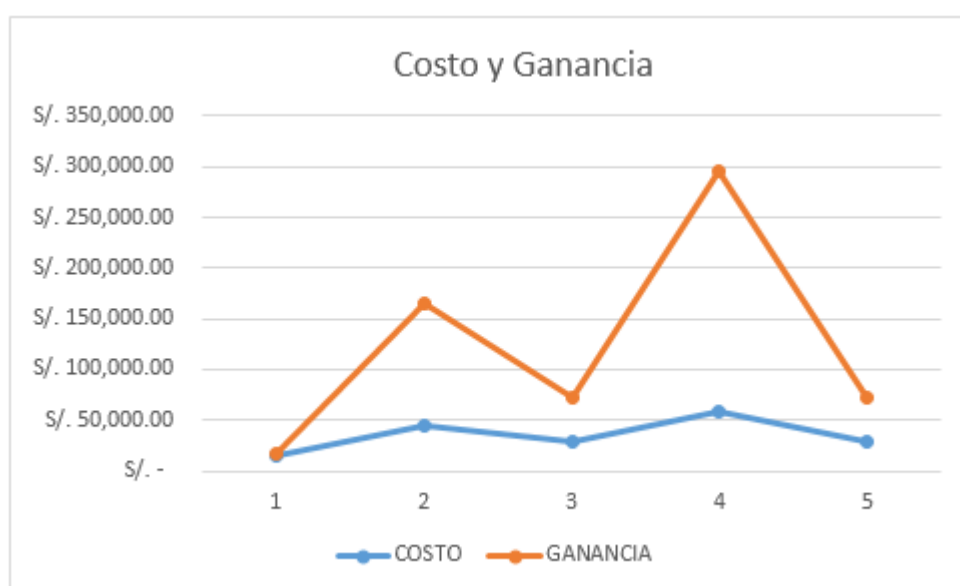


Figura 3.54 Gráfica de líneas entre el costo y la ganancia de la implementación de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

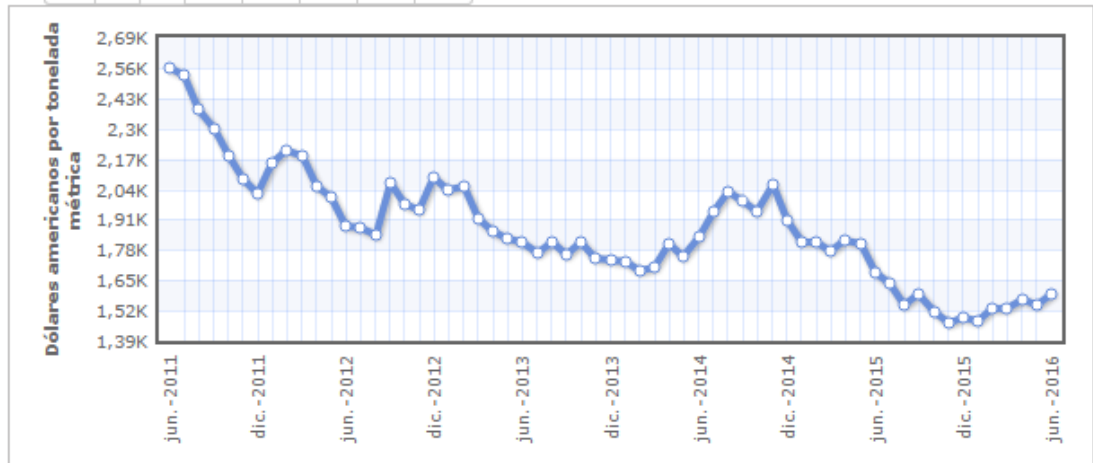
La gráfica resulto variable, debido al precio variable del aluminio, según la figura 3.55:

Aluminio Precio Mensual - Dólares americanos por tonelada métrica

Rango

jun. 2011 - jun. 2016: -964,250 (-37,70 %)

6m 1a 5a 10a 15a 20a 25a 30a



Descripción: Aluminum, 99.5% minimum purity, LME spot price, CIF UK ports, Dólares americanos por tonelada métrica

Unidad: Dólares americanos por tonelada métrica

Figura 3.55 Variación del precio de aluminio desde junio del 2011 a junio del 2016

Fuente: Elaboración propia en Excel (2016)

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas

Para probar el diseño se hicieron 3 diseños de máquinas cortadoras de vidrio con sus respectivos resultados.

4.1.1 Prueba y resultado 1

Para la prueba uno, se simuló el movimiento de la cortadora de vidrio en 1 sentido y este fue el resultado:

En la siguiente figura se muestra el movimiento vertical en SolidWorks.

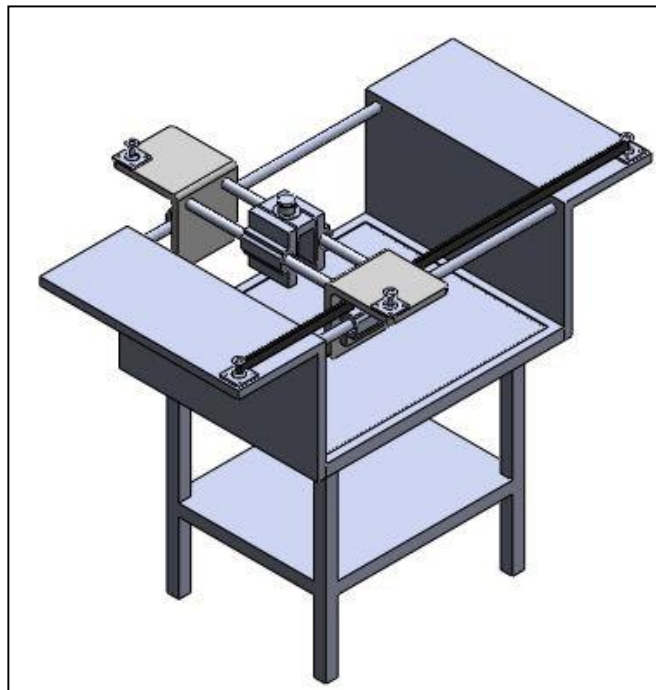


Figura 4.1 Etapa 1 del movimiento vertical de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2015)

A continuación se muestra la siguiente etapa de movimiento de la máquina cortadora de vidrio.

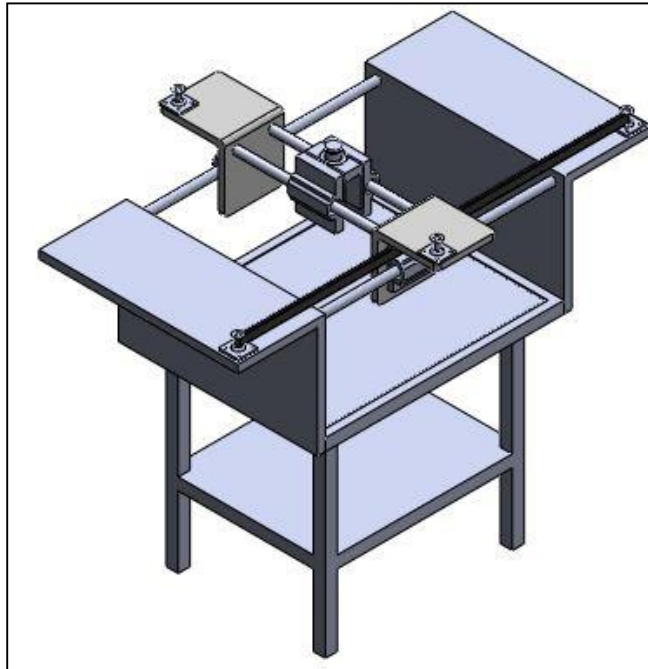


Figura 4.2 Etapa 2 del movimiento vertical de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2015)

Finalmente, se muestra la etapa final de movimiento vertical de la máquina cortadora de vidrio.

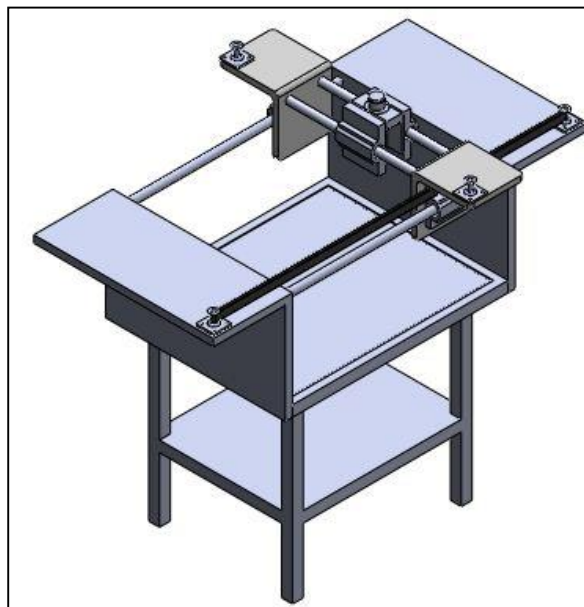


Figura 4.3 Etapa final del movimiento vertical de la máquina cortadora de vidrio

Fuente: Elaboración propia (2015)

4.1.2 Prueba y resultado 2

Para la prueba dos, se simuló el movimiento horizontal de la cortadora de vidrio en otro sentido y este fue el resultado:

En la siguiente figura se muestra el movimiento horizontal en SolidWorks.

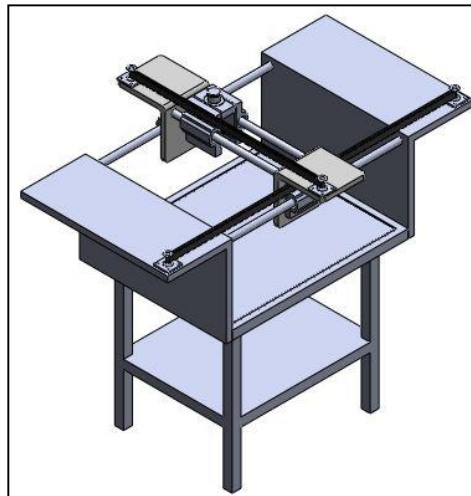


Figura 4.4 Etapa 1 del movimiento horizontal de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2015)

A continuación se muestra la siguiente etapa de movimiento de la máquina cortadora de vidrio.

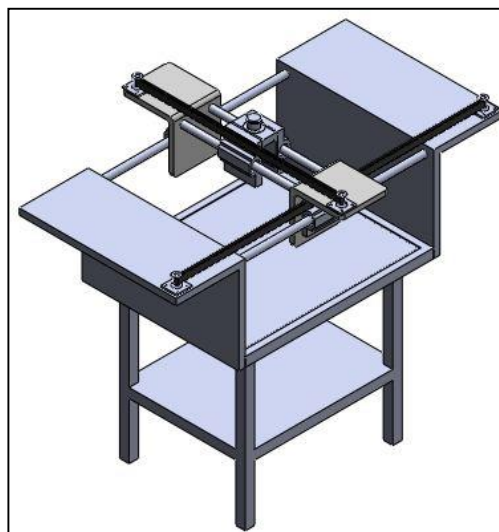


Figura 4.5 Etapa 2 del movimiento horizontal de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2015)

Finalmente, en la siguiente figura se muestra la última etapa de movimiento horizontal.

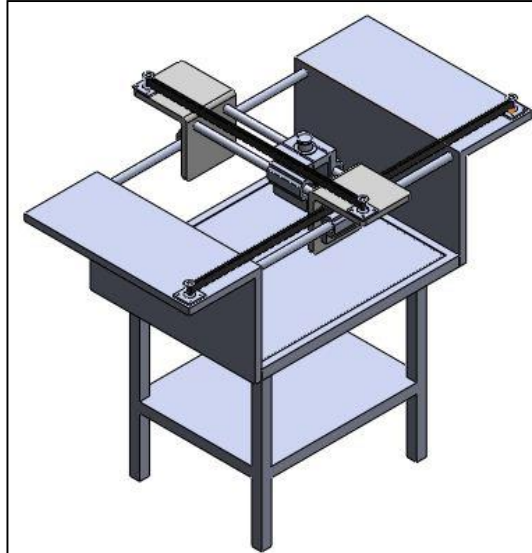


Figura 4.6 Etapa final del movimiento horizontal de la máquina cortadora de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2015)

4.2 Resultados del software

Una vez realizados el diseño mecánico, el diseño eléctrico, el diseño electrónico, el diseño del control y la simulación, se procedió a la interconexión del SolidWorks con el PLC para una simulación mucho más realista, pero como todavía no existe un software que integre estos 2 programas, no se pudo terminar, sin embargo, en el presente capítulo se muestran las fotos de algunos resultados que se hicieron con cada software utilizado.

En primer lugar, se muestra la compilación de la programación del motor DC sin errores utilizando el software de Arduino.

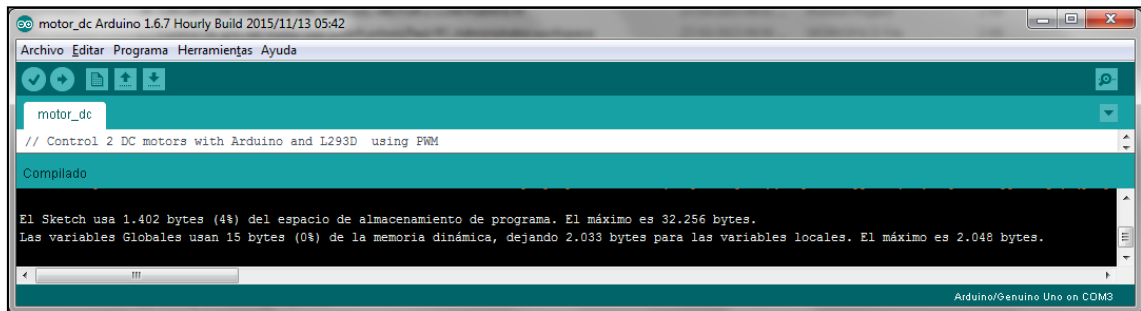


Figura 4.7 Compilación del programa Arduino.
Fuente: Creación propia con el software de Arduino. (2015)

En segundo lugar, se muestra la compilación de la programación del motor DC sin errores utilizando el software de Arduino.

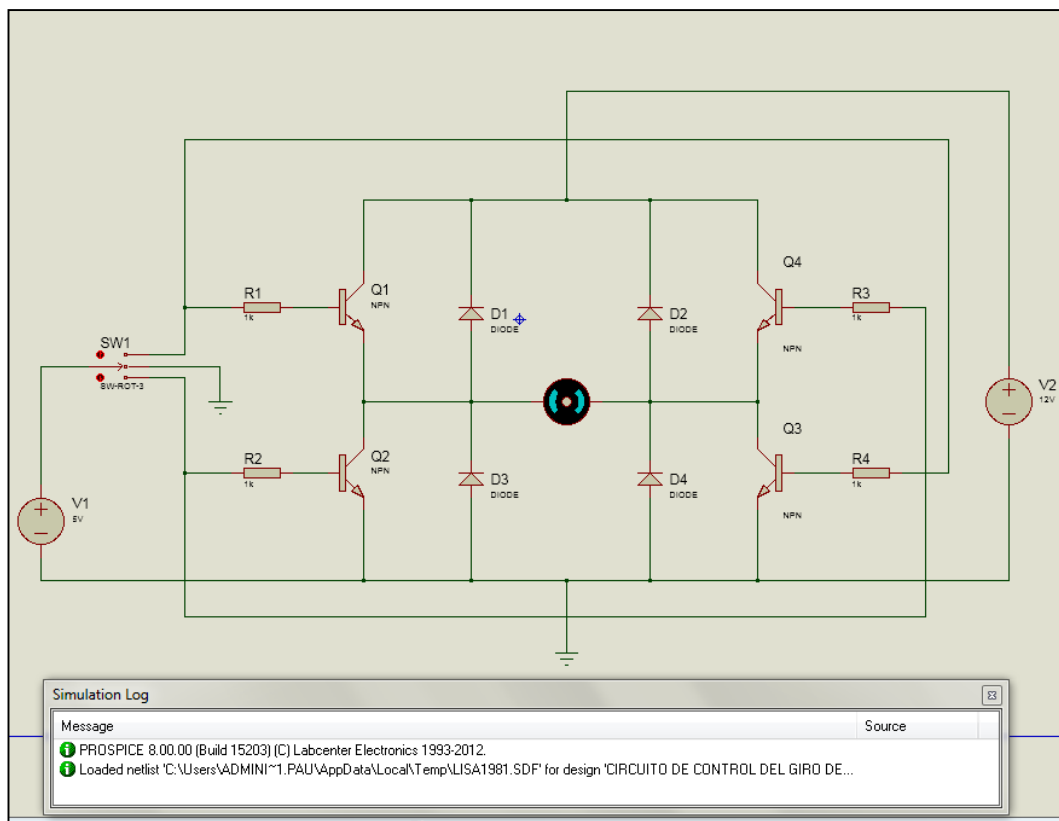


Figura 4.8 Compilación del circuito en el software de Proteus.
Fuente: Creación propia con el software de Proteus. (2015)

En tercer lugar, se muestra la compilación de la programación del motor DC con el software de simulación de PLC en el microwin:

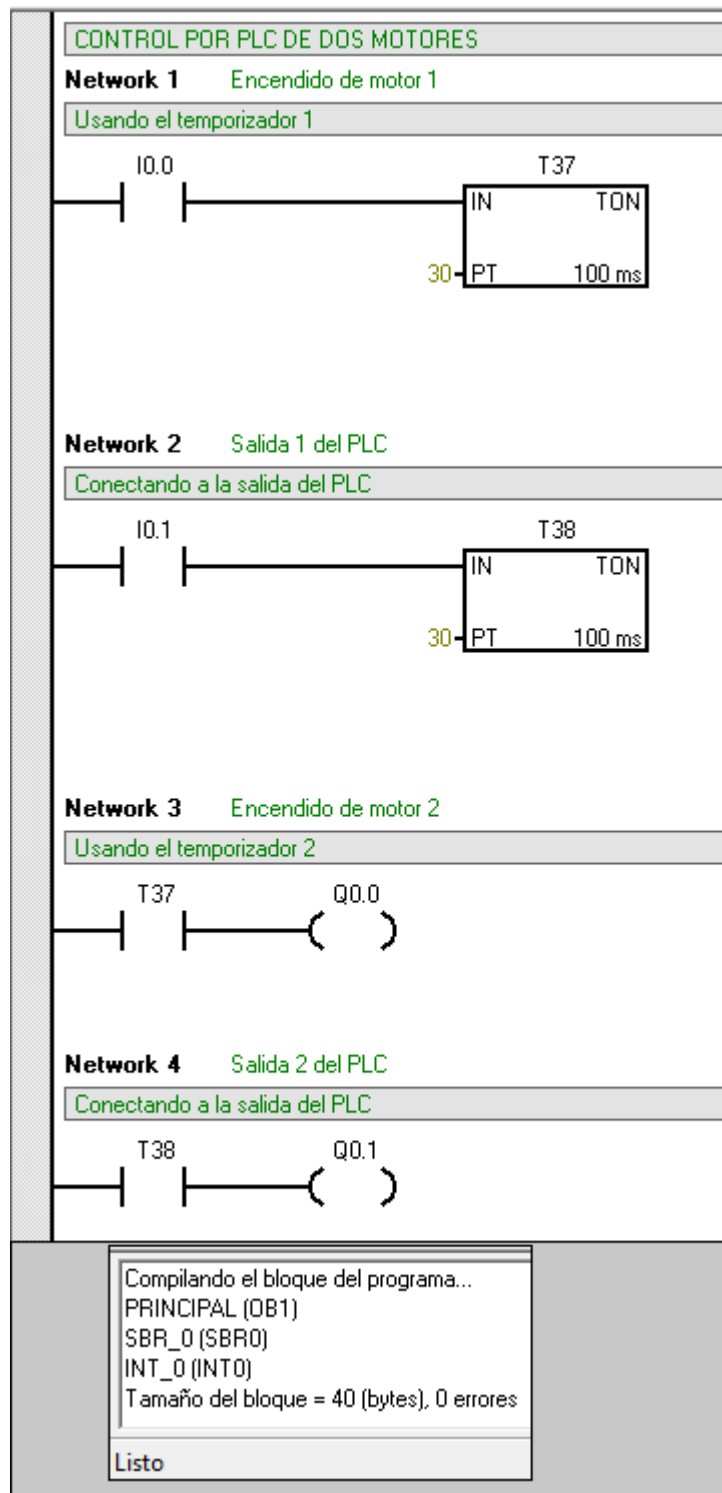


Figura 4.9 Programa PLC y compilación del mismo en Microwin.
 Fuente: Creación propia con el software de Microwin. (2015)

En cuarto lugar, se muestran los resultados del simulador PLC S7-200.

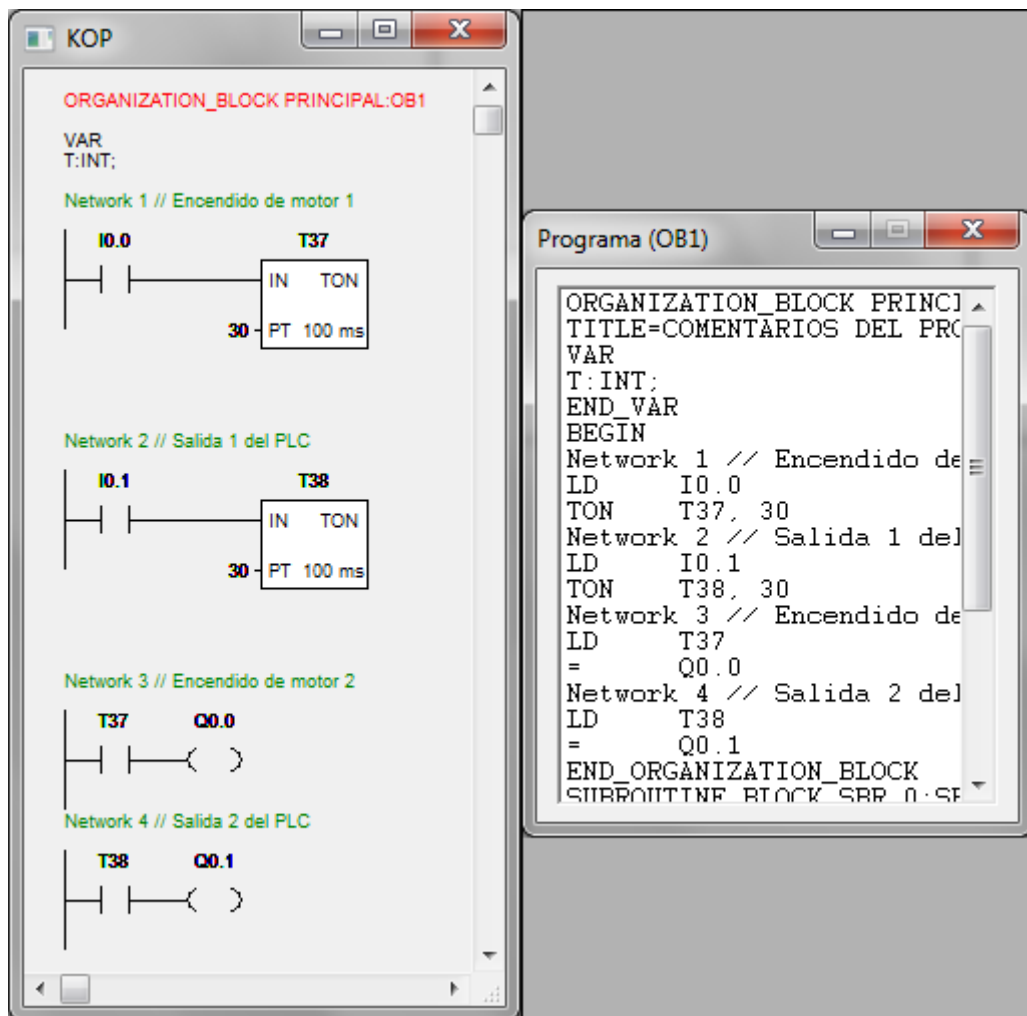


Figura 4.10 El diagrama KOP y AWL del programa PLC en S7-200 Simulator.

Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

En último lugar, se muestra la simulación con un PLC siemens S7-200 virtual:

Se comienza con el estado inicial y poniendo el PLC en el estado RUN, mostrado en la figura 4.11:

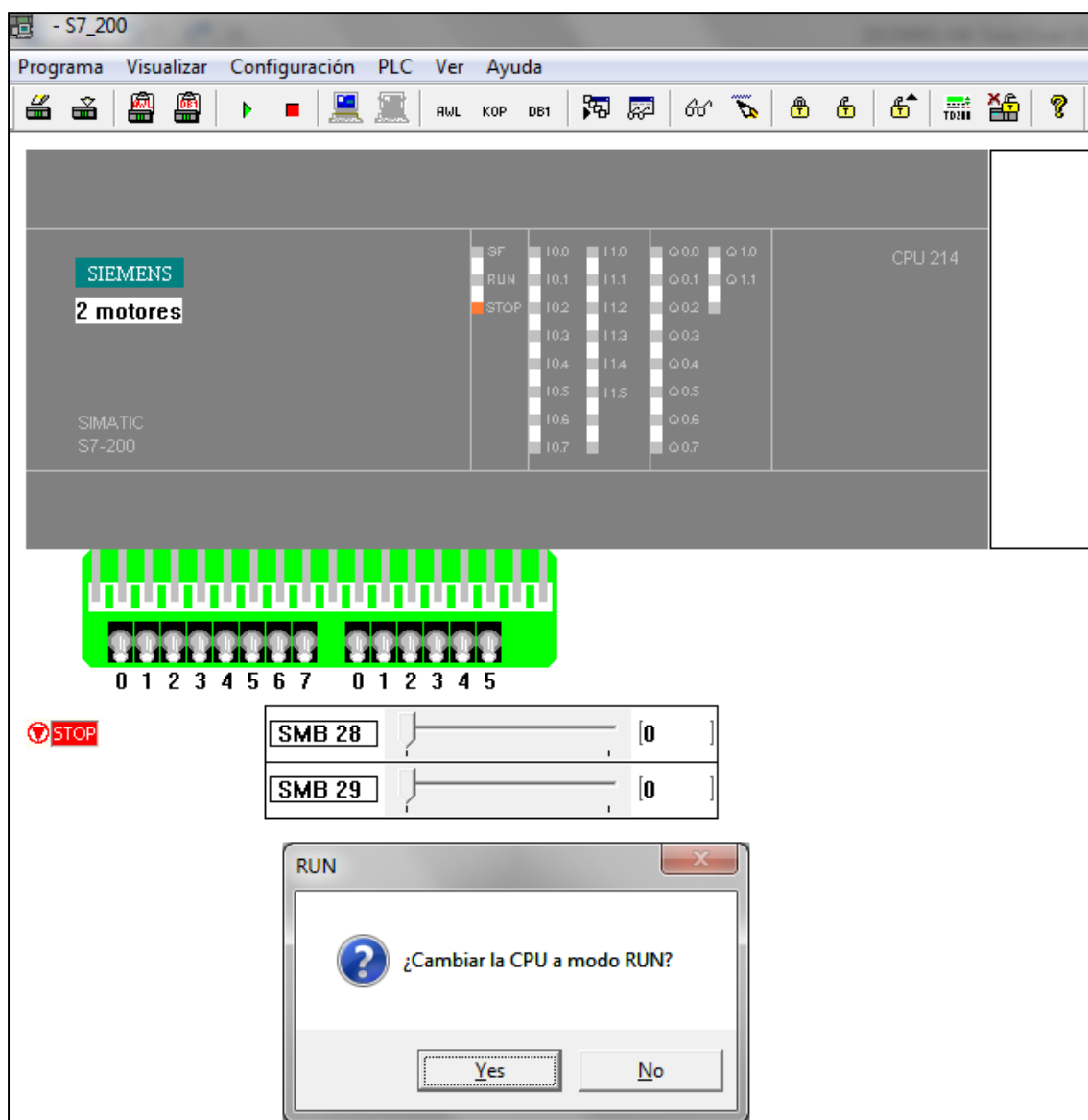


Figura 4.11 Estado inicial del PLC Siemens S7-200 virtual.
Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

Luego se cambia el PLC virtual al modo RUN:

Después, se ejecuta la entrada 1 del PLC.

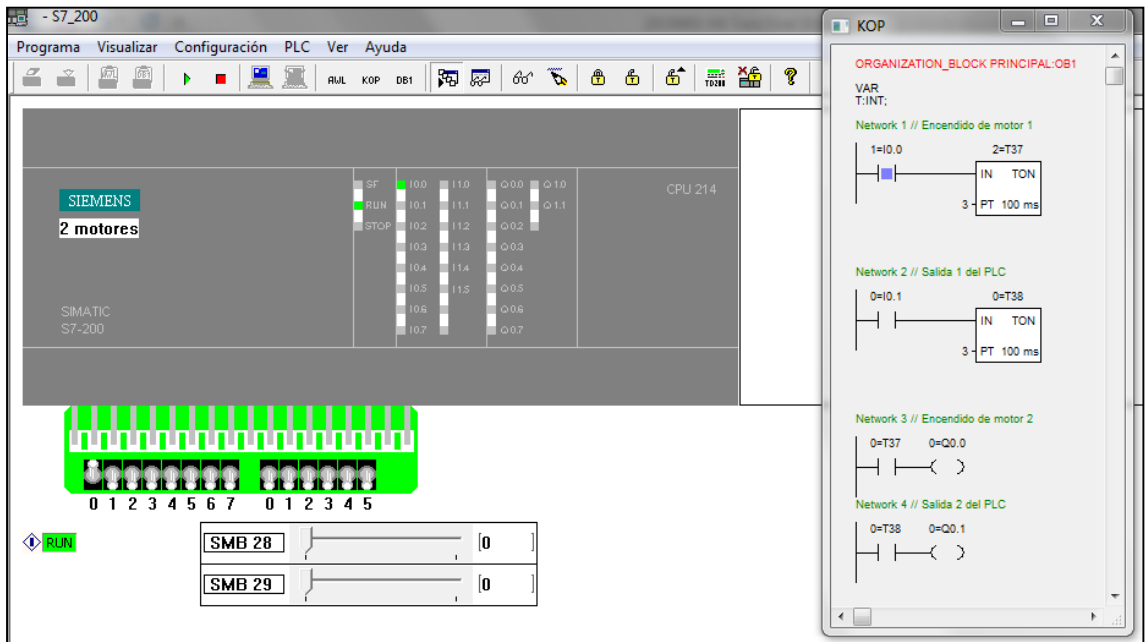


Figura 4.12 Ejecución de la entrada 1 del PLC siemens S7-200 virtual.
Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

Luego se espera la respuesta de la salida 1:

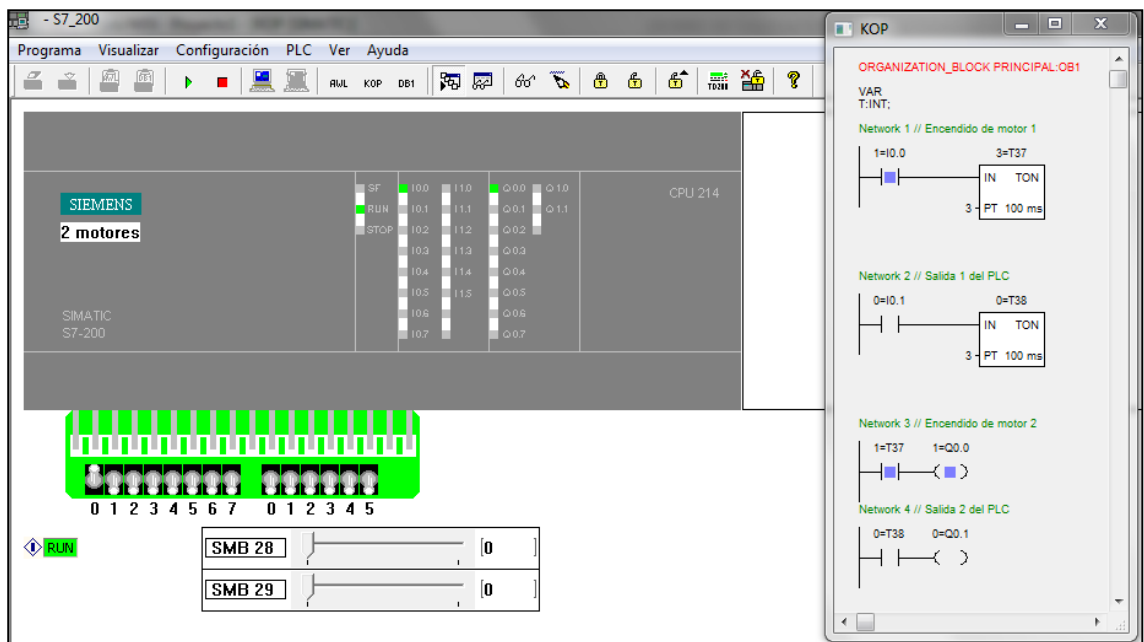


Figura 4.13 Respuesta de la salida 1 del PLC siemens S7-200 virtual.
Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

A continuación, se ejecuta la entrada 2 del PLC.

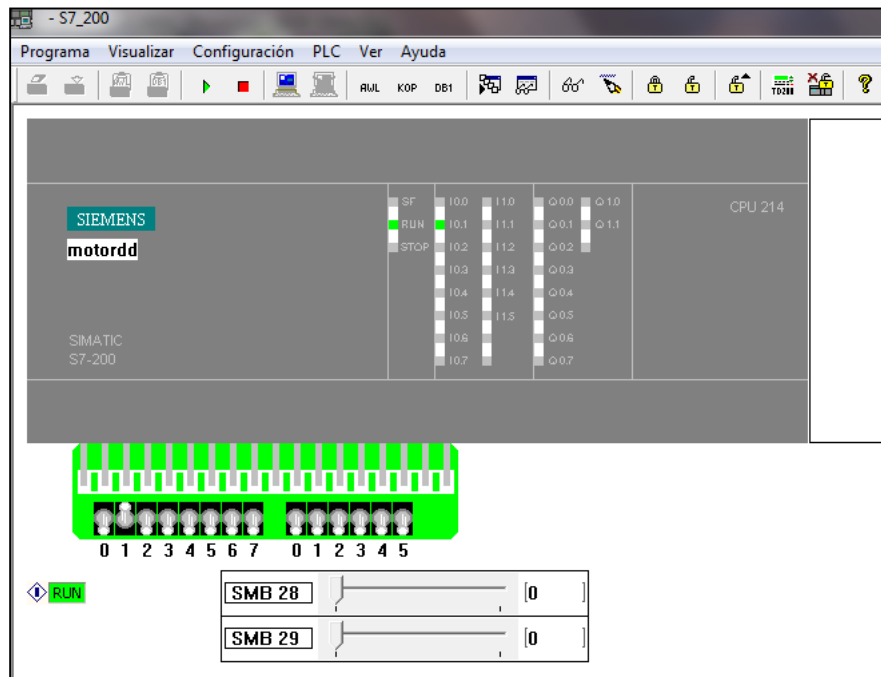


Figura 4.14 Ejecución de la entrada 2 del PLC siemens S7-200 virtual.
Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

Luego se espera la respuesta del salida 2:

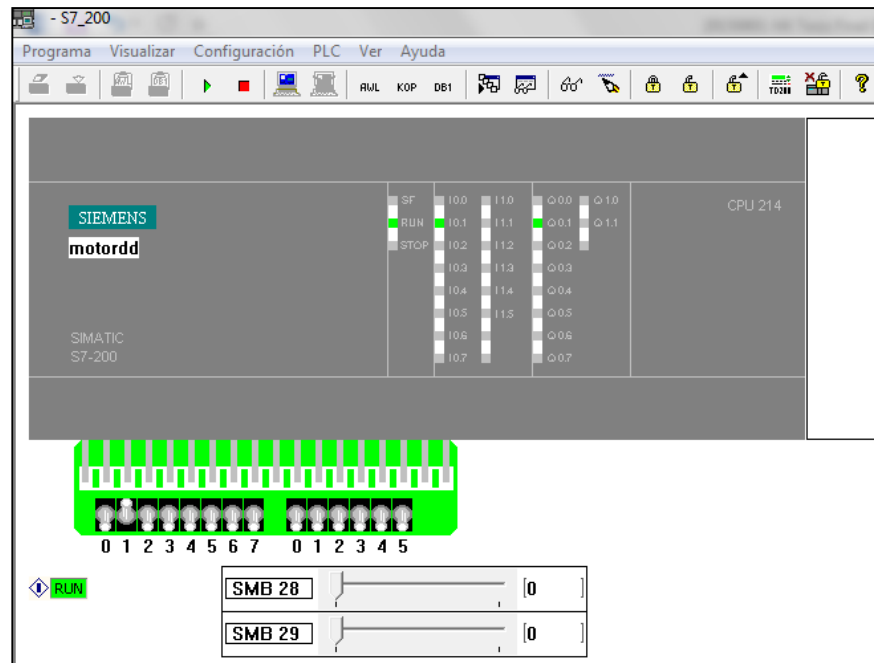


Figura 4.15 Respuesta de la salida 2 del PLC siemens S7-200 virtual.
Fuente: Creación propia con el software S7-200 Simulator. (2015)

Como se puede apreciar, las simulaciones son adecuadas y se demuestra el funcionamiento del programa en el PLC S7-200 siemens

CONCLUSIONES

Fue posible el diseño y simulación de una máquina cortadora de vidrio controlada por PLC Siemens S7-200 de forma exitosa.

Fue posible desarrollar la parte mecánica de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

Fue posible desarrollar la parte eléctrica de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

Fue posible desarrollar la parte electrónica de máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

Fue posible simular una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

Fue posible desarrollar el control por PLC Siemens S7-200 de una máquina cortadora de vidrio de forma exitosa.

El diseño final de la máquina cortadora de vidrio tiene las siguientes características: El cabezal de la cortadora está conformado por un par de soportes cruzados que sostienen la herramienta de corte que es el láser capaz de cortar láminas de vidrio de 5mm de grosor de 48cm. X 58cm. Esta operación se facilitó con la ayuda de las herramientas de CAD que existen hoy en día.

Al final se obtiene un prototipo de una cortadora de vidrio ortogonal funcional mediante sensores y programación que permite facilitar el corte a nivel de prueba, demostrando que el equipo puede identificar su trayectoria de corte.

La máquina cortadora de vidrio ortogonal fue diseñada desde un principio como una cortadora de vidrio mecánica, en donde solo se basaba de propiedades mecánicas para el movimiento. Si bien este mecanismo no es tan efectivo para

realizar los cortes de vidrio, se agregó la automatización mediante sensores y programas como se mencionó anteriormente.

RECOMENDACIONES

Este proyecto es parte de un proyecto muy ambicioso por parte de la universidad en donde se desea crear una máquina cortadora de vidrio. Esto representa un avance a nivel nacional ya que en el país no se tiene desarrollo en materia de automatización de equipos.

Debido a que este proyecto es solamente el prototipo de la máquina cortadora de vidrio, todavía hace falta realizar algunas mejoras. La primera de ellas y probablemente la más importante es incorporar el movimiento curvilíneo al prototipo. El control de movimiento debe de ser capaz de realizar cortes circulares y oblicuos para que este realice los movimientos necesarios sin afectar la lámina de vidrio de una forma natural y cómoda.

Este control de movimiento puede ser incorporado en el prototipo diseñado de este trabajo de esta forma se puede visualizar el movimiento y mejorar el control en caso de ser necesario.

Una vez que se incorpore el control de movimiento y sea probado en el prototipo. Puede ser conveniente que se realice un rediseño de la máquina cortadora de vidrio. Lo que da como resultado mayor variedad de cortes de vidrio al ser ejecutado. De esta forma se puede ya construir un prototipo Beta el que se puedan realizar pruebas físicas.

Los trabajos a futuro pueden incluir el cambio del estándar de comunicación utilizado actualmente por los sistemas que integran el equipo, hacia protocolos que permitan una mayor velocidad de recepción y envío como lo es la comunicación por medio del Bluetooth mediante una aplicación del sistema Android, que permitirá reducir la programación ocupado tanto por el sistema de procesamiento como por el sistema de adquisición.

En cuanto al sistema de procesamiento las posibles mejoras podrían incluir la integración de este sistema y el sistema de adquisición mediante el uso de una tarjeta de adquisición de datos.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Avizora (2001). Periodismo para pensar, la industria de vidrio. En *Avizora*. Consultado el 15 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.avizora.com/atajo/informes/china_textos/0025_industria_del_vidrio_en_china.htm
- [2] Blog de control 2 (2007). Controladores PID. En *Blog de control 2*. Consultado el 10 de junio del 2015. Disponible en: <http://scontrol2.blogspot.pe/2007/12/controladores-pid.html>
- [3] Gigatecno (2013). Ventajas y desventajas de los microcontroladores PIC. En *Gigatecno*. Consultado el 11 de junio del 2015. Disponible en: <http://gigatecno.blogspot.pe/2013/02/ventajas-y-desventajas-de-los.html>
- [4] Pérez, A. (2015). Tesis: *Diseño de un cortador láser CNC de CO₂ para acrílicos y madera*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Cybertesis PUCP. Perú. Lima. Consultado el 14 de abril de 2016. Disponible en: <http://cybertesis.pucp.edu.pe/>
- [5] Figueroa, A. (2014). Tesis: *Diseño de una máquina abonadora para distribuir fertilizante inorgánico en terrenos de cultivo de bajo costo*. Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería. Programa Cybertesis URP. Perú. Lima. Consultado el 14 de abril de 2016. Disponible en: <http://cybertesis.urp.edu.pe/>
- [6] Chipoco, A. (2015). Tesis: *Diseño del sistema mecatrónico de tostadora para restaurante*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Cybertesis

PUCP. Perú. Lima. Consultado el 14 de mayo de 2016. Disponible en: <http://cybertesis.pucp.edu.pe/>

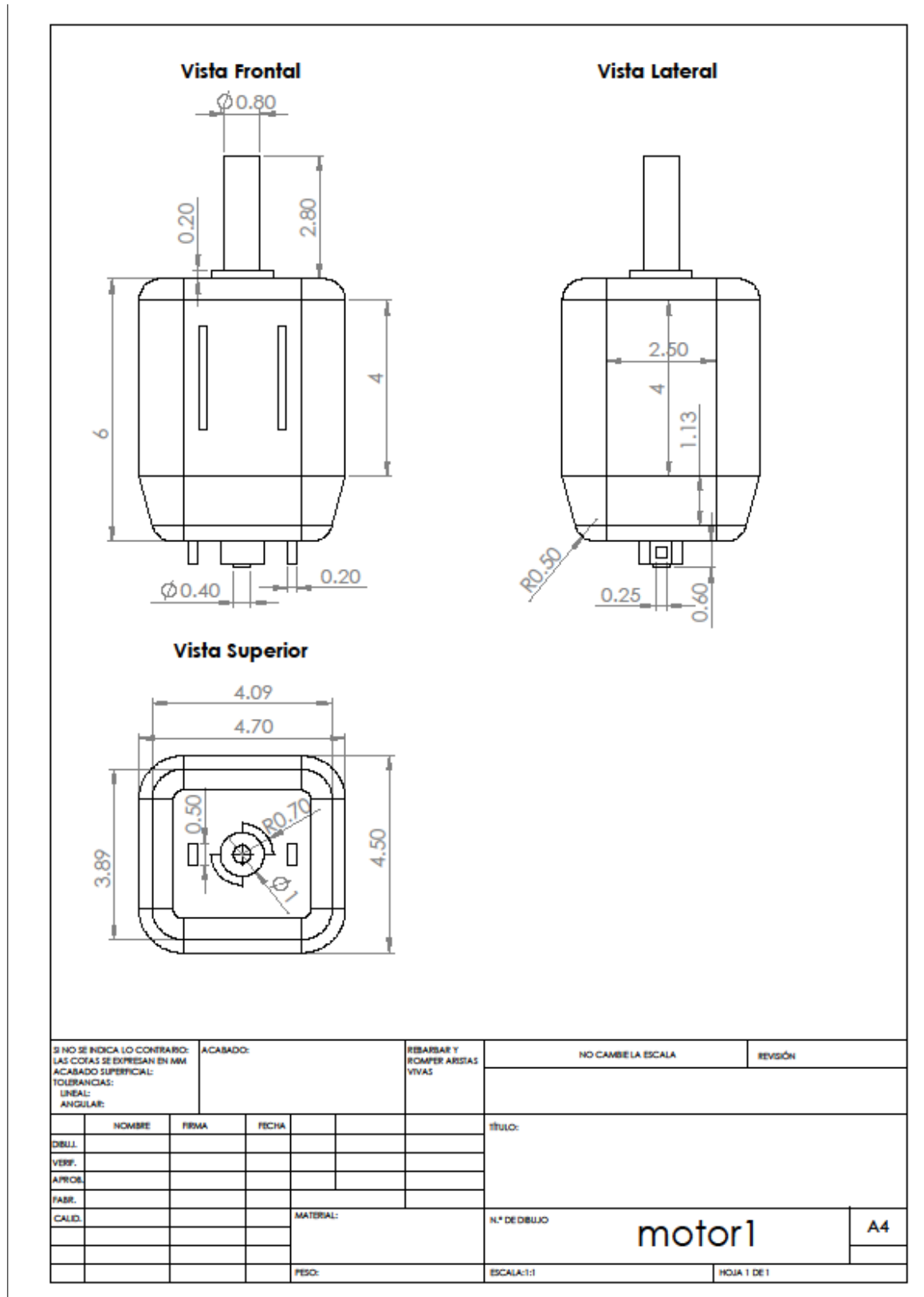
- [7] Pérez, M., Pérez, S. y Salas, B. (2015). Tesis: *Control de una banda transportadora con PLC SIEMENS S7-200*. Instituto politécnico Nacional. México. Consultado el 14 de mayo de 2016. Disponible en: <http://ipn.mx/>
- [8] Ledesma, R. (2012). Tesis: *Control de una banda transportadora con PLC*. Universidad Autónoma de Zacatecas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. México. Consultado el 14 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.uaz.edu.mx/>
- [9] Díaz, D. (2006). Tesis: *Automatización de Etiquetadora de botellas Kronen bajo PLC SIEMENS*. Universidad Simón Bolívar. Coordinación de Ingeniería Electrónica. Venezuela. Consultado el 14 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.usb.ve/>
- [10] Paredes, O. (2014). Tesis: *Migración del PLC Siemens SIMATIC S5-100U a SIMATIC S7-300 con integración de Touch Pannel, para operación de equipo pre-estucador de máquina papelera CMPC Planta Valdivia*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Chile. Consultado el 14 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.uach.cl/>
- [11] Academic (2000). Vidrio templado. En *Academic*. Consultado el 10 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1204647>
- [12] Amada (2016). Corte por Láser. En *Amada*. Consultado el 10 de mayo de 2016. Disponible en: <http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glosslasercutting>

- [13] Wikimedia commons (2004). Mecánica. En *Wikimedia commons*
Consultado el 10 de mayo de 2015. Disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica>
- [14] SolidWorks (1995). SOLIDWORKS 2013 Help. En *SolidWorks Help*. Consultado el 5 de junio de 2016. Disponible en:
<http://help.solidworks.com/>
- [15] curso de autómatas programables (2001). *Automatización*
Consultado el 18 de abril de 2016. Disponible en:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- [16] Sistemas autómatas de control de procesos. *El PLC*. Consultado el 30 de noviembre de 2015. Disponible en:
<http://sistemasautomatasj.blogspot.pe>
- [17] Mandado, E. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. 2^{da} ed. México: Alfaomega/Marcombo.
- [18] Can-Electric. *SIEMENS S7-200 PLC*. Encontrado el 16 de noviembre de 2015. Disponible en:
http://www.can-electric.com/index.php?_m=mod_product&_a=view&p_id=74
- [19] Michel, G. (1990). *Autómatas programables industriales: arquitectura y aplicaciones*. 1^{ra} ed. Inglaterra. Barcelona: Marcombo.
- [20] Porras, A. (2003). *Autómatas programables: fundamentos, manejo, instalación y prácticas*. 1^{ra} ed. España. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

- [21] The top report. *Principales empresas importadoras de vidrio flotado*. Consultado el 25 de marzo de 2016. Disponible en: <https://thetopreportblog.wordpress.com/2013/05/21/top-10-empresas-importadoras-de-vidrio-flotado-2012/>
- [22] Proporción 3, S.A. *Ficha de empresa de Tuomas- Tecnocat*. Consultado el 30 de marzo de 2016. Disponible en: <http://www.vidrioperfil.com/es/1259&tuomas-tecnocat.html>
- [23] Ledra. *Peso del vidrio*. Consultado el 12 de noviembre de 2015. Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/61396688/Peso-Del-Vidrio>
- [24] ©Saint-Gobain Sekurit. Empresa multinacional europea. *Introducción, propiedades y aplicaciones del vidrio*. Consultado el 27 de abril de 2016. Disponible en: <http://www.saint-gobain-sekurit.com/es/glosario/introducci%C3%B3n-del-vidrio>
- [25] Juvenal, R. (2013). *Diseño de elementos de máquinas*. 2da ed. México. Editorial: Autor-Editor.
- [26] William, B. (2013). *Mecatrónica - Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. 5^{ta} ed. Lengua Española. Inglaterra. Barcelona: Alfaomega.

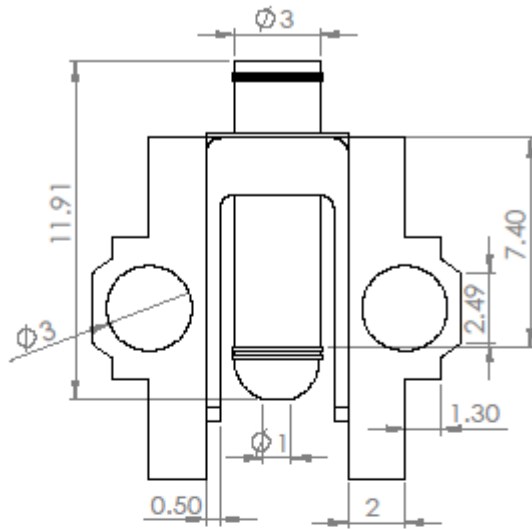
ANEXOS

Anexo 1: Plano del motor

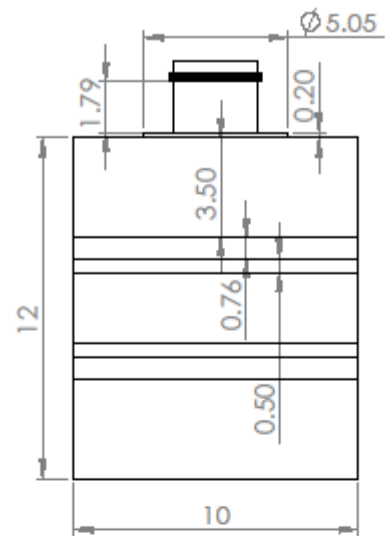


Anexo 2: Plano del cabezal láser

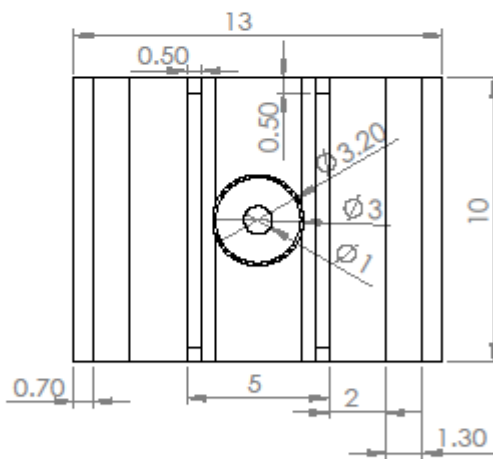
Vista Frontal



Vista Lateral

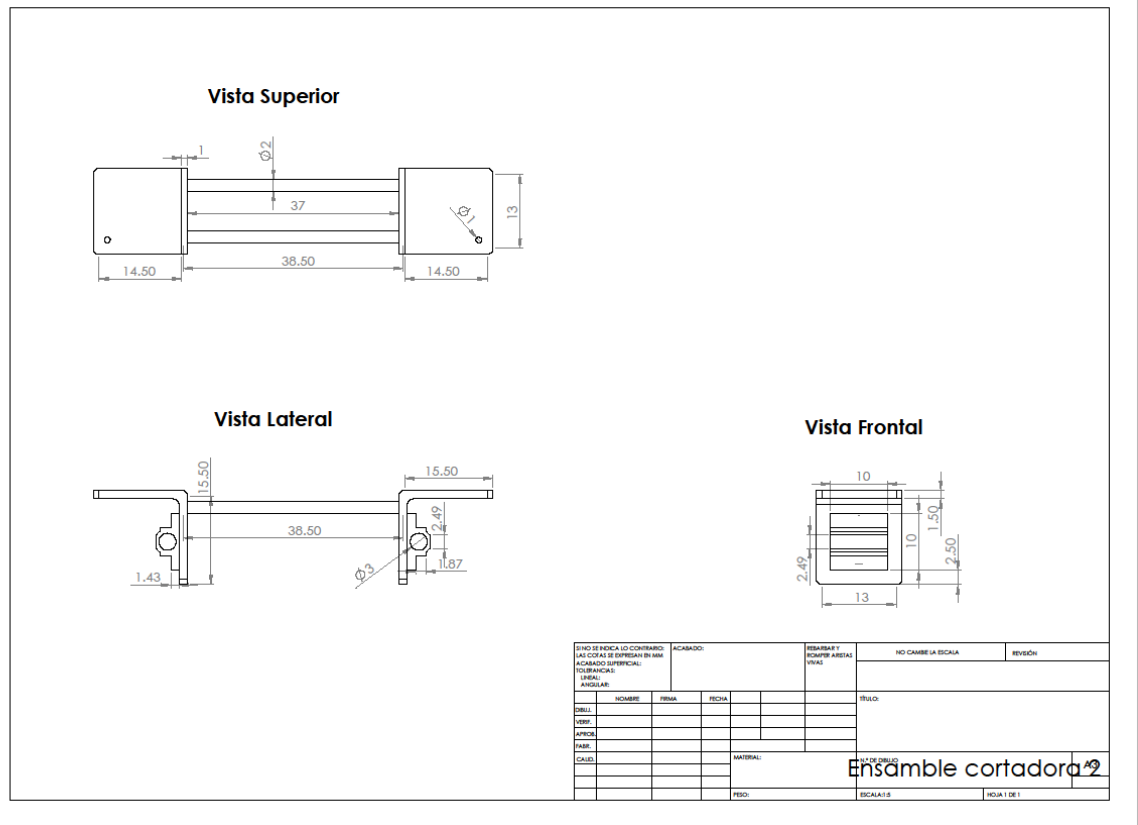


Vista Superior

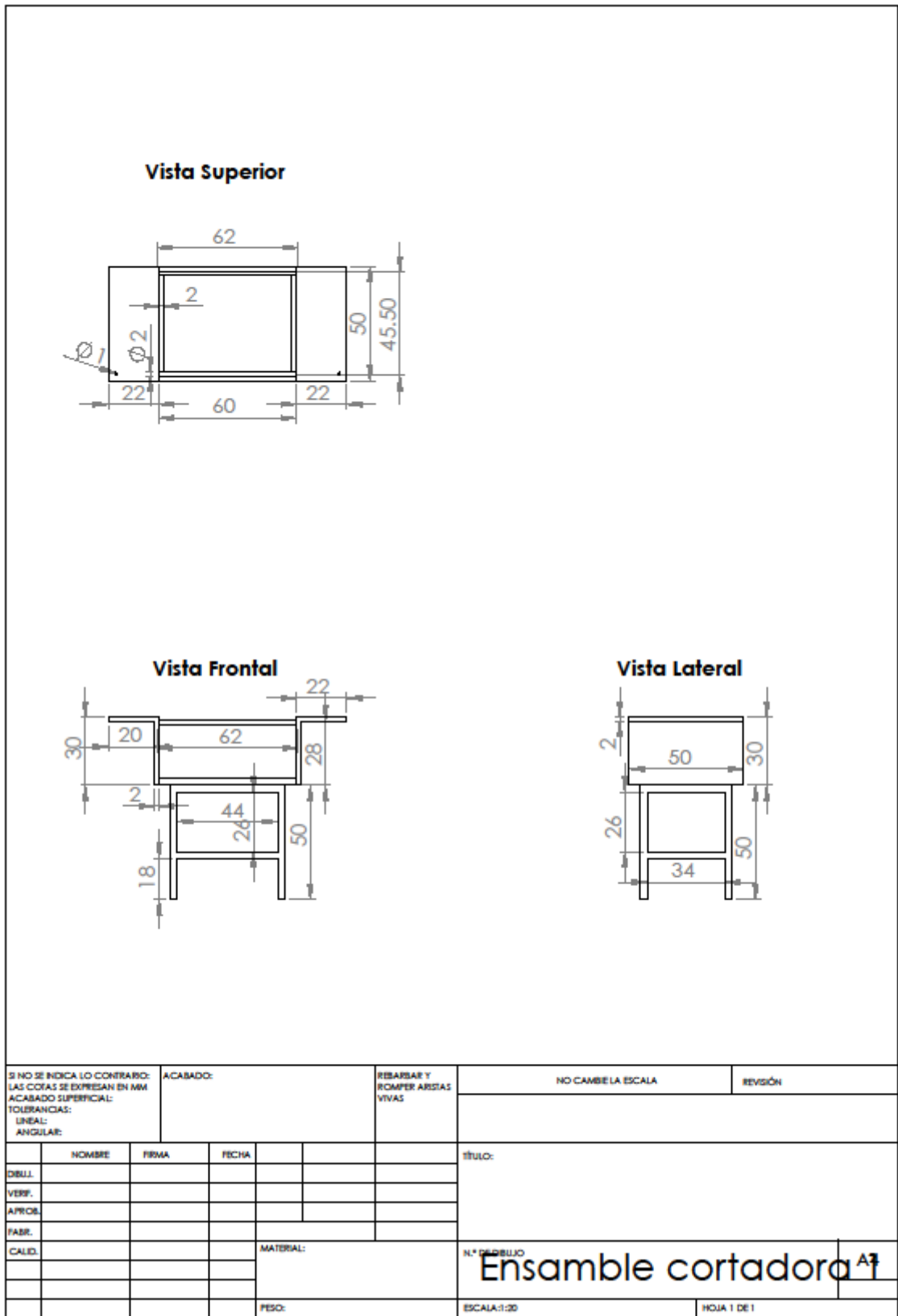


Si no se indica lo contrario: Las cotas se expresan en mm Acabado superficial: Tolancias: Lineal: Angular:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE:				FIRMA:		FECHA:		TÍTULO:			
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		Cabezal de Láser A4	
								ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1	
						PESO:					

Anexo 3: Plano del ensamblaje 1



Anexo 4: Plano del ensamblaje 2



Anexo 5: Datos técnicos del vidrio

DENSIDAD:

- **2500 Kg/m³**, es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de 2,5 Kg/m² por cada milímetro de espesor.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO:

- **730° C**, aproximadamente

CONDUCTIVIDAD TERMICA:

- **1.05 W/mK**

COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL:

Es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1°C su temperatura. Para el vidrio entre 20 y 220°C de temperatura, dicho coeficiente es: **9 x 10⁻⁶ / °C** Por ejemplo un vidrio de 2000 mm de longitud que incremente su temperatura en 30°C, sufrirá un alargamiento de $2000 \times 10^{-6} \times 30 = 0.54$ mm

Coefficientes de dilatación de otros materiales:

Aluminio	23 x 10 ⁻⁶ / °C
Acero	11 x 10 ⁻⁶ / °C
Cobre	16 x 10 ⁻⁶ / °C
Madera	5-8 x 10 ⁻⁶ / °C
Polycarbonato	68 x 10 ⁻⁶ / °C

DUREZA:

- **6 a 7** en la escala de Mohs.

El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.

MODULO DE YOUNG:

720.000 Kg/cm²

Otros materiales:

Aluminio	700.000
Acero	2.100.000
Concreto	200.000
Polycarbonato	21.000 – 25.000

COEFICIENTE DE POISSON

- Varía entre 0.22 y 0.23

RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

- No presenta cambios

RESISTENCIA QUIMICA

El vidrio resiste el ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido hidrofúorídrico y, a alta temperatura, el fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio. Cuando se emplean marcos de concreto, los álcalis liberados del cemento, durante una lluvia, pueden opacar la superficie del vidrio. La presencia de humedad entre dos hojas de vidrio estibadas durante un tiempo puede producir el "impresionado" (manchas blanquecinas) de sus superficies que, son muy difíciles de remover.

RESISTENCIA MECANICA

- El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie.

Resistencia a la tracción

Varía según la duración de la carga y oscila entre 300 y 700 K/cm². Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40%. A mayor temperatura menor resistencia a la tracción. Depende del estado de los bordes del vidrio.

El borde pulido brillante es el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde con un corte neto realizado con una rueda de carburo de tungsteno

Resistencia a la compresión

- 10.000 Kg/cm², aproximadamente es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm de lado.

Módulo de rotura para:

- Vidrios recocidos 350 a 550 Kg/cm²
- Vidrios templados 1850 a 2100 Kg/cm²

Módulo de trabajo para:

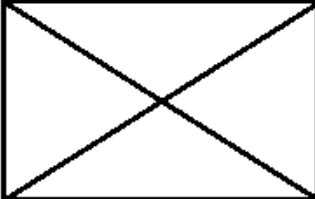












- Vidrio recocido, carga momentánea 170 Kg/cm²
- Vidrio recocido, carga permanente 60 Kg/cm²
- Vidrio templado 500 Kg/cm²

Varios:

Un vidrio con su superficie esmerilada o arenada tiene un 30% menos de resistencia a la tracción. El vidrio laminado simétrico, en condiciones normales de uso en aberturas presenta una resistencia, por lo menos, un 10% menor que un Float monolítico de igual espesor total.

Anexo 5: Simbología ISA

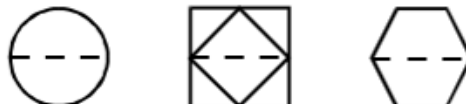
INSTRUMENTS LINE SYMBOLS				
ALL LINES TO BE FINE IN RELATION TO PROCESS PIPING LINES.				
INSTRUMENT SUPPLY OR * CONNECTION TO PROCESS	—————			
UNDEFINED SIGNAL	——— / / ———			
PNEUMATIC SIGNAL **	——— // // ———			
ELECTRIC SIGNAL	- - - - - OR ——— // // ———			
HYDRAULIC SIGNAL	——— L L ———			
CAPILLARY TUBE	——— X X ———			
ELECTROMAGNETIC OR SONIC *** SIGNAL (GUIDED)	——— ~ ~ ———			
ELECTROMAGNETIC OR SONIC *** SIGNAL (NO GUIDED)	~ ~			
INTERNAL SYSTEM LINK (SOFTWARE OR DATA LINK)	——— ○ ○ ———			
MECHANICAL LINK	——— ● ● ———			
OPTIONAL BINARY (ON-OFF) SYMBOLS				
PNEUMATIC BINARY SIGNAL	——— X X ———			
ELECTRIC BINARY SIGNAL	- - / - - / - - OR ——— X X ———			
<p>NOTE: 'OR' means user's choice. Consistency is recommended.</p> <p>* The following abbreviations are suggested to denote the types of power supply. These designations may also be applied to purge fluid supplies.</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"> AS - Air Supply IA - Instrument Air PA - Plant Air ES - Electric Supply GS - Gas Supply </td> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">} Options</td> <td style="width: 40%;"> HS - Hydraulic Supply NS - Nitrogen Supply SS - Steam Supply WS - Water Supply </td> </tr> </table> <p>The supply level may be added to the instrument supply line, e.g., AS-100, a 100 psig air supply; ES-24-DC, a 24-volt direct current power supply.</p> <p>** The pneumatic signal symbol applies to a signal using any gas as the signal medium. If a gas other than air is used, the gas may be identified by a note on the signal symbol or otherwise.</p> <p>*** Electromagnetic phenomena include heat, radio waves, nuclear radiation and light.</p>		AS - Air Supply IA - Instrument Air PA - Plant Air ES - Electric Supply GS - Gas Supply	} Options	HS - Hydraulic Supply NS - Nitrogen Supply SS - Steam Supply WS - Water Supply
AS - Air Supply IA - Instrument Air PA - Plant Air ES - Electric Supply GS - Gas Supply	} Options	HS - Hydraulic Supply NS - Nitrogen Supply SS - Steam Supply WS - Water Supply		









GENERAL INSTRUMENTS OR FUNCTION SYMBOLS			
	PRIMARY LOCATION *** NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR	FIELD MOUNTED	AUXILIARY LOCATION *** NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR
DISCRETE INSTRUMENTS	1 *  IP1**	2 	3 
SHARED DISPLAY SHARED CONTROL	4 	5 	6 
COMPUTER FUNCTION	7 	8 	9 
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL	10 	11 	12 

* Symbol size may vary according to the user's needs and the type of document. A suggested square and circle size for large diagrams is shown above. Consistency is recommended.

** Abbreviations of the user's choice such as IPI (Instrument Panel #1), IC2 (Instrument Console #2), CC3 (Computer Console #3), etc., may be used when it is necessary to specify instrument or function location.

*** Normally inaccessible or behind-the-panel devices or functions may be depicted by using the symbol but with dashed horizontal bars, i.e.



13	14  INSTRUMENT WITH LONG TAG NUMBER	15  INSTRUMENTS SHARING COMMON HOUSING *
16  PILOT LIGHT	17  PANEL MOUNTED PATCHBOARD POINT 12	18  ** PURGE OR FLUSHING DEVICE
19  ** REST FOR LATCH-TYPE ACTUATOR	20  DIAPHRAGM SEAL	21  ** UNDEFINED INTERLOCK LOGIC

* It is not mandatory to show a common housing.

** These diamonds are approximately half the size of the larger ones.

*** For specific logic symbols, see ANSI/ISA Standard S5.2.

Anexo 6: Representación ISA

Tag Descriptors

The first letter is used to designate the **measured variable**

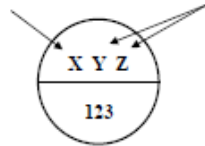
The succeeding letter(s) are used to designate the **function** of the component, or to **modify** the meaning of the first letter.

Pressure

Level

Flow

Temperature



Indicator

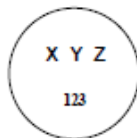
Recorder

Controller

Transmitter

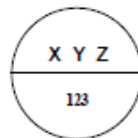
Instrument Location

The presence or absence of a line determines the location of the physical device. For example **no line** means the instrument is installed in the field near the process.



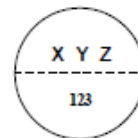
No Line

The instrument is mounted in the field near the process, (close to the operator)



Solid Line

The instrument is mounted in the control room (accessible to the operator)

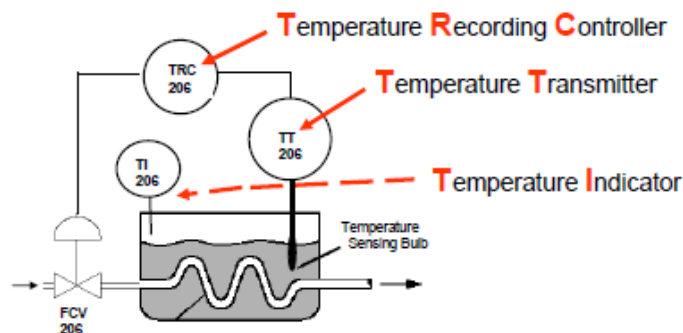


No Line

The instrument is mounted out of sight (not accessible to the operator)

Tag Numbers

Tag "numbers" are letters and numbers placed within or near the instrument to identify the type and function of the device.



Examples



ISA S5.1 Identification Letters

First-letter	Succeeding- Letters				
	Measured or Initiating variable	Modifier	Readout function	Output function	Modifier
A	Analysis				
C				Control	
D		Differential			
F	Flow Rate	Ratio			
H	Hand				High
I	Current		Indicate		
L	Level				Low
P	Pressure, vacuum				
Q	Quantity	Totalizer			
S		Safety		Switch	
T	Temperature			Transmit	
V	Vibration			Valve, Damper	
Z	Position			Actuator	

Anexo 7: Diagrama esquemático ISA

