



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE SOLDADURA PARA TUBOS
DE COBRE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ROBOT
SOLDADOR FANUC 120I PARA LA EMPRESA “INLLIYAKU”**

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

FABIÁN LEONIDAS GÓMEZ GARCÉS

DIRECTOR: ING. DANIEL MIDEROS. PHD

Quito, marzo 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción


FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1716630122
APELLIDO Y NOMBRES:	Gómez Garcés Fabián Leonidas
DIRECCIÓN:	Diego Velásquez oe4-78 y Av. John F. Kennedy
EMAIL:	leogomezgarces@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	022492776
TELÉFONO MOVIL:	0995286101

DATOS DE LA OBRA					
TÍTULO:	Diseño de una estación de soldadura para tubos de cobre mediante la utilización de un robot soldador Fanuc 120i para la empresa "Inllyaku"				
AUTOR O AUTORES:	Fabián Gómez				
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	31 de marzo de 2017				
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. Daniel Mideros. PhD.				
PROGRAMA	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">PREGRADO</td> <td style="border: none; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="border: none;">POSGRADO</td> <td style="border: none; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	PREGRADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POSGRADO	<input type="checkbox"/>
PREGRADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POSGRADO	<input type="checkbox"/>		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica				
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El presente trabajo muestra el diseño y modelado CAD de una celda automatizada de soldadura de tubos y accesorios de cobre con diámetro de 1 ¼ de pulgada para la empresa "Inllyaku"; así como el algoritmo de programación de la trayectoria a seguir por un robot soldador FANUC 120i, con base a los requerimientos establecidos por la empresa.</p> <p>Primero se realizó un análisis de las piezas que componen el conjunto a soldar, para después determinar el mecanismo de abastecimiento de las mismas a la primera estación, secuencia de armado y posterior soldadura.</p> <p>Con base a la investigación realizada se determinó los protocolos de programación y simulación del robot marca FANUC, que al ser de segundo uso, presentó varios problemas mecánicos y electrónicos.</p> <p>El diseño de la estructura de la estación de soldadura se realizó con la utilización del software SolidWorks, el control con</p>				

	<p>LOGO!Soft Confort y la simulación de la trayectoria del robot con el software ROBOGUIDE -Handling Pro.</p> <p>La máquina fue diseñada con materiales disponibles en el mercado local y tiene una capacidad de producción de una pieza cada dos minutos, obteniendo como resultado un sistema automatizado de soldadura, que da inicio al posterior desarrollo de las siguientes etapas del proceso de producción para la fabricación de calefones eléctricos.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Diseño, celda, soldadura, protocolos, simulación.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The present document shows the design and CAD modeling of an automated welding cell of copper pipes and fittings with a diameter of 1 ¼ inch for the company "Inlliyaku".</p> <p>Also, the programming algorithm of the trajectory to be followed by a robot Welder FANUC 120i, based on the requirements established by the company.</p> <p>First, an analysis of the parts constituting the assembly to weld was performed. After determining the mechanism for supplying the parts to the cell, sequence of assembly and subsequent welding.</p> <p>Based on the research, the programming protocols and the simulation of the FANUC robot were determined. This robot is a second-use unit, that's why it has had many mechanical and electrical problems.</p> <p>The design of the welding station structure was done with the use of several software as: SolidWorks, Fluidsim, LOGO! Soft confort and simulation of the trajectory with software ROBOGUIDE - Handling pro.</p> <p>The machine was designed with materials available in the local market and it has a production capacity of one piece every two minutes. The result was an automated welding system which starts the subsequent development of the next stages of the production process for the manufacture of electric water heaters.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Design, cell, welding, protocols, simulation.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

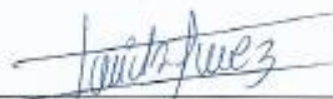
f.  _____

GÓMEZ GARCÉS FABIÁN LEONIDAS
CI. 171663012-2

DECLARACIÓN

Yo **FABIÁN LEONIDAS GÓMEZ GARCÉS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

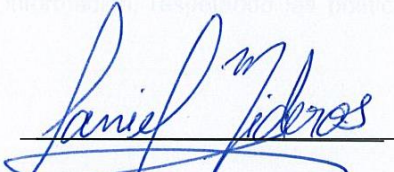
La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Fabián Leonidas Gómez Garcés
C.I 171663012-2

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE SOLDADURA PARA TUBOS DE COBRE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ROBOT SOLDADOR FANUC 120I PARA LA EMPRESA INLLIYAKU**”, que, para aspirar al título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **FABIÁN LEONIDAS GÓMEZ GARCÉS**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, reading "Daniel Mideros", is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Ing. Daniel Mideros. PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 171317732-5

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GÓMEZ GARCÉS FABIÁN LEONIDAS**, CI 171663012-2 autor/a del proyecto titulado: **Diseño de una estación de soldadura para tubos de cobre mediante la utilización de un robot soldador Fanuc 120i para la empresa "Inlliyaku"** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 30 de marzo del 2017



GÓMEZ GARCÉS FABIÁN LEONIDAS
CI. 171663012-2



CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **HÉCTOR BOLÍVAR VELASCO ÁLVAREZ** con cédula de identidad N. - **171290859-7** en calidad de Gerente General de **INLLIYAKU S.A.** autorizo a **GÓMEZ GARCÉS LEONIDAS FABIÁN**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación "**DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE SOLDADURA PARA TUBOS DE COBRE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ROBOT SOLDADOR FANUC 120I PARA LA EMPRESA INLLIYAKU**", basada en la información proporcionada por la compañía.



VELASCO ÁLVAREZ HÉCTOR BOLÍVAR
CI. 171290859-7

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por protegerme y darme la fortaleza necesaria para seguir adelante.

A mi madre María Antonieta, quien con su ejemplo de integridad, esfuerzo y amor me ha guiado durante toda mi vida, gracias por apoyarme de manera incondicional a pesar de las adversidades.

A mi familia, quienes son lo más importante y valioso que poseo.

A la Universidad y a sus profesores, gracias por brindarme las bases necesarias para ejercer mi carrera profesional, al igual que a la empresa Inllyaku, que me permitió poner en práctica mis conocimientos en el presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. Introducción	
ROBOT SOLDADOR POR ARCO FANUC 120i	2
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	
REQUERIMIENTOS.....	5
RESTRICCIONES.....	5
2.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....	6
2.2 DISEÑO ESPECÍFICO.....	7
DISEÑO ELECTROMECAÁNICO.....	7
BASE DE SUJECIÓN.....	7
• Sujetador pistón de sujeción.....	10
• Sujetador de motor de giro.....	11
SISTEMA MECÁNICO DE TRANSPORTE.....	12
BANDEJAS DE SUMINISTRO DE ACCESORIOS.....	13
DISEÑO SISTEMA NEUMÁTICO.....	16
• Pistones de doble efecto.....	16
DISEÑO ELECTRÓNICO Y DE CONTROL.....	18
SENSORES.....	18
• Sensor inductivo IFM IFW204.....	19
• Sensor CRSMT-8M-PS-24V-K-0,3-M12.....	19
MOTOR DE GIRO.....	20
ACTUADOR LINEAL.....	21
FUENTE DE VOLTAJE.....	21
SISTEMA DE CONTROL.....	22
• PROGRAMACIÓN DE PLC.....	22
• PROGRAMACIÓN DEL ROBOT.....	25
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA.....	28
PANEL DE CONTROL.....	28
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	29
RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	30
VALOR DE LA MÁQUINA.....	31
FLUJO DE CAJA.....	31
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Características pistón DFAW-50-150-CRB4-PPSA.....	17
Tabla 2. Características del sensor IFW204.....	19
Tabla 3. Características del sensor CRSMT-8M-PS-24V-K-0,3-M12.....	19
Tabla 4. Características servomotor BSH0551T31F1A.....	20
Tabla 5. Características de mini carro EGSL 40	21
Tabla 6. Especificaciones fuente WAGO 787-722	21
Tabla 7. Características PLC LOGO! 230RC	22
Tabla 8. Entradas y salidas del programa del PLC	23
Tabla 9. Costo de construcción de la estación de soldadura	31
Tabla 10. Flujo de caja.	31
Tabla 11. Resultados VAN, TIR y tiempo de retorno de inversión.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Flujo del Proceso	6
Figura 2. Modelo CAD de la base de soldadura.	8
Figura 3. Dimensionamiento de guías para tubos.....	8
Figura 4. Modelado CAD de la guía.....	9
Figura 5. Vista superior y frontal del modelado CAD de base de sujeción...	10
Figura 6. Modelado CAD sujetador de pistones.....	10
Figura 7. Dimensionamiento de sujetador de pistón.	11
Figura 8. Modelado CAD del sujetador de motor de giro.	11
Figura 9. Vista superior del sujetador de giro.....	11
Figura 10. Modelo CAD de banda transportadora.	13
Figura 11. Modelo CAD de la bandeja de suministro de piezas.....	13
Figura 12. Vista frontal soporte 1.....	14
Figura 13. Vista frontal soporte 2.....	14
Figura 14. Modelo CAD de la bandeja de suministro.....	15
Figura 15. Vista superior de la bandeja de suministro.....	15
Figura 16. Modelado CAD de estación de soldadura.....	16
Figura 17. Diagrama del sistema electro neumático.....	17
Figura 20. Simulación de programación en HandlingPRO.....	27
Figura 22. Gráfica y características básicas de la máquina.....	28
Figura 23. Panel de control y descripción de funciones.....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

Anexo 1. Plano de bandeja de tapas y tuercas	37
Anexo 2. Plano de soporte de bandeja	38
Anexo 3. Plano de soporte de bandeja alto	39
Anexo 4. Plano de sujetador de motor de giro	40
Anexo 5. Plano de sujetador de pistón.....	41

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño y modelado CAD de una celda automatizada de soldadura de tubos y accesorios de cobre con diámetro de 1 ¼ de pulgada para la empresa "Inlliyaku"; así como el algoritmo de programación de la trayectoria a seguir por un robot soldador FANUC 120i, con base a los requerimientos establecidos por la empresa.

Primero se realizó un análisis de las piezas que componen el conjunto a soldar, para después determinar el mecanismo de abastecimiento de las mismas a la primera estación, secuencia de armado y posterior soldadura.

Con base a la investigación realizada se determinó los protocolos de programación y simulación del robot marca FANUC, que al ser de segundo uso, presentó varios problemas mecánicos y electrónicos.

El diseño de la estructura de la estación de soldadura se realizó con la utilización del software SolidWorks, el control con LOGO!Soft Confort y la simulación de la trayectoria del robot con el software ROBOGUIDE -Handling Pro.

La máquina fue diseñada con materiales disponibles en el mercado local y tiene una capacidad de producción de una pieza cada dos minutos, obteniendo como resultado un sistema automatizado de soldadura, que da inicio al posterior desarrollo de las siguientes etapas del proceso de producción para la fabricación de calefones eléctricos.

ABSTRACT

The present document shows the design and CAD modeling of an automated welding cell of copper pipes and fittings with a diameter of 1 ¼ inch for the company "Inllyaku".

Also, the programming algorithm of the trajectory to be followed by a robot Welder FANUC 120i, based on the requirements established by the company. First, an analysis of the parts constituting the assembly to weld was performed. After determining the mechanism for supplying the parts to the cell, sequence of assembly and subsequent welding.

Based on the research, the programming protocols and the simulation of the FANUC robot were determined. This robot is a second-use unit, that's why it has had many mechanical and electronical problems.

The design of the welding station structure was done with the use of several software as: SolidWorks, Fluidsim, LOGO! Soft comfort and simulation of the trajectory with software ROBOGUIDE - Handling pro.

The machine was designed with materials available in the local market and it has a production capacity of one piece every two minutes. The result was an automated welding system which starts the subsequent development of the next stages of the production process for the manufacture of electric water heaters.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa "Inlliyaku" motivada frente al cambio de la matriz energética del país se ha propuesto la fabricación de calefones eléctricos con la finalidad de ofrecer al mercado local un producto de producción nacional, el cual posea un precio competitivo en comparación a los que se importan actualmente.

Con base en los estudios de mercado, la empresa determinó que los costos y tiempos de producción en función del volumen son demasiado altos para realizarlos en su totalidad de manera manual. Uno de los procesos productivos que demanda la fabricación de calefones eléctricos es el de soldadura, que al tratarse de una tarea repetitiva y por la exposición a la radiación, sus efectos son perjudiciales para el personal operativo que los realiza. En respuesta a esta realidad la empresa determinó la necesidad de realizar esta actividad de manera automatizada y así lograr un proceso de soldadura eficiente. Con este enfoque se realizó la adquisición de un robot soldador marca FANUC, para cumplir con la tarea de soldar piezas de cobre de diferentes formas y tamaños. Debido a la alta inversión inicial que demanda la automatización de procesos industriales, se optó por la segmentación del proceso de soldadura en etapas, esto en función de la secuencia de ensamblaje del conjunto requerido. Es por tal motivo que el presente proyecto tiene por objetivo general, el diseñar una estación de soldadura para tubos de 1 ¼ pulgada, así como la programación del robot soldador. Para la consecución de dicho objetivo, se planteó como objetivos específicos, el diseño de una estación que permita suministrar al proceso tubos de cobre con sus respectivos accesorios en cada uno de los extremos y la creación del algoritmo de programación para el robot soldador. Debido a restricciones presupuestarias que tiene la empresa, el proyecto está enfocado exclusivamente al diseño de la estación de soldadura para que posteriormente la misma pueda ser implementada en la línea de producción. Son varios los factores que intervienen al tomar la decisión de utilizar robots industriales en los procesos productivos, de los cuales se puede mencionar el económico, técnico e incluso el social, que para el último caso a nivel directivo la reducción de la carga de trabajo para la mano de obra tiene un interés muy bajo, algo que para el nivel operativo por el contrario tiene una ponderación alta, siendo el principal factor que lleva a una empresa a incorporar un robot industrial a sus procesos productivos, el incremento de la productividad, esto con la finalidad de obtener un mayores beneficios económicos para la organización.

La productividad de una empresa al utilizar robots industriales se ve incrementada debido al aumento de la velocidad de ejecución de las tareas, así como la precisión de las mismas, lo cual da como resultado una mejora en la calidad del producto final. Al incrementar la productividad de una empresa, la amortización de la inversión para la adquisición de un robot industrial es mucho más rápida, pero algo que se debe tomar en cuenta es la importancia de considerar que los elementos complementarios para poner en funcionamiento el mismo como por ejemplo los periféricos, herramientas y otro

dispositivos, pueden llegar a encarecer considerablemente el precio final del sistema. (Domingo, 2010)

Los robots soldadores representan un valioso aporte a la industria como la metalmecánica o la automotriz, es por tal motivo que su presencia en las líneas de producción es más común. Empresas como DaimlerChrysler y ABB a través de su proyecto conjunto de I+D realizado en el 2004, son un ejemplo del desarrollo de robots soldadores diseñados específicamente para dicha tarea, donde el objetivo fue el de optimizar las prestaciones mediante la simplicidad, eliminando características que no fueran necesarias. Esto permitió después de tres años la fabricación de un robot ligero, fácil de instalar y con un amplio radio de acción, lo cual permite añadir un segundo nivel a las celdas de soldadura para un ahorro de espacio y la integración más eficiente de los robots a la celda de trabajo. (Dumberg, 2007)

Un robot de soldadura debe ser instruido en cada detalle del procedimiento, que a pesar del amplio conocimiento teórico disponible, se requiere con frecuencia la realización de diversas pruebas para determinar todos los ajustes necesarios, esto implica el consumo de material y la utilización de los robots durante periodos en los cuales podrían estar en producción y por tanto generando ingresos a la empresa, es por eso que los costes y el tiempo requerido obligan a limitar el número de pruebas, dificultando así la consecución de óptimos resultados. En respuesta a esta situación las empresas fabricantes de robots, desarrollan diferentes softwares que permiten determinar de manera fiable los resultados de una soldadura, realizando una evaluación rápida y detallada de cada uno de los procesos. (Skarin, 2004)

ROBOT SOLDADOR POR ARCO FANUC 120I

El robot soldador de FANUC está diseñado para realizar diferentes tareas de soldadura con gran precisión y alta velocidad, su diseño reduce el desgaste de cables y minimiza los problemas con el alimentador de hilo. (Fanuc, 2016)

El sistema de control presenta un hardware integrado con más de 250 funciones de software, diseñado para que sea intuitivo y minimizando el consumo de energía, además posee un gran rendimiento en tiempo de ciclos, velocidad, precisión y seguridad para el robot. (Fanuc, 2016)

Jeffus (2009) asegura que una celda robotizada de soldadura representa una inversión que supera en miles de dólares a una celda de soldadura manual, debido a que a más de la adquisición del robot, es necesario dispositivos de sujeción más sofisticados, así como sistemas de seguridad más complejos y la incorporación de otros periféricos.

La producción de estructuras soldadas mediante sistemas robotizados representa grandes ventajas con respecto a la soldadura manual reduciendo costos directos, incrementando la capacidad productiva y mejorando la calidad del producto final.

Para seleccionar la opción de soldar con robots es necesario que la cantidad de piezas iguales a producir sea de miles de unidades, con lo cual el gasto de la inversión inicial se vea compensado en un corto o mediano plazo. Caso contrario al tener una variedad muy alta de piezas a soldar y una cantidad baja de unidades a producir, el gasto de la inversión puede llegar a no ser amortizado. (Liste, 2016)

Al utilizar robots para trabajos de soldadura, lo que se hace no es más que reemplazar al operario en la manipulación de la antorcha, con lo cual las funciones que él realiza como el presionar el gatillo o detectar fallas por pérdida de arco de manera visual y auditiva, son reemplazadas por sistemas automatizados que mediante el envío de señales digitales o análogas entre el controlador y la fuente de soldadura, lo que permite como por ejemplo el detectar si se pierde el arco de soldadura por falta de corriente.

Según Liste (2016) entre los elementos que se pueden encontrar conformando una celda robotizada de soldadura están:

- Dispositivos de sujeción de sub-partes de la pieza a soldar.
- Posicionadores que sujeten el dispositivo de tal manera que lo coloquen en su posición correcta.
- Cercas de seguridad y accesos automáticos a las diferentes estaciones, restringiendo el acceso a los operarios mientras el robot permanezca en funcionamiento.

Un aspecto a tomar en cuenta es la precisión con la cual se debe trabajar al incorporar un robot en cualquier tarea, ya que siempre ejecutará la misma trayectoria, motivo por el cual se debe mejorar en muchos casos el dimensionamiento de las sub-partes, así como, el posicionamiento de las mismas, por el contrario en el caso de la soldadura manual el operario al utilizar su vista puede corregir la trayectoria sobre la marcha en función de la posición de las piezas. (Liste, 2016)

Otro aspecto a considerar es la capacidad de detectar la presencia o no de una sub-parte antes de realizar el proceso de soldadura, en el caso de realizarlo de manera manual el operario al detectar la falta de una pieza no realizará la operación; para el caso del robot es necesario el proveer al sistema de sensores que permitan detectar este tipo de variables en proceso. (Liste, 2016)

Según Cassani (2016) la utilización de robots en tareas de soldadura mejora la eficiencia del arco eléctrico, lo cual incrementa la productividad de fabricación en una relación de tres a uno con respecto al procedimiento manual, esto implica en ciertos casos, que la vida de servicio del robot se extienda más allá de su uso en la producción de un determinado producto, dificultando así la justificación del costo de la inversión, por lo que se

recomienda la reutilización del robot en otros proyectos hasta que llegue a cumplir su vida útil que es de aproximadamente de siete a diez años.

En la actualidad se conoce de varias industrias a escala nacional que utilizan soldadura robotizada como es el caso de la automotriz o la metalmecánica, pero procesos automatizados para soldadura son muy pocos y son desarrollados de manera exclusiva por cada empresa en función de sus requerimientos, por tal motivo es difícil encontrar empresas locales especializadas en realizar proyectos que integren estos dos procesos.

La tendencia actual es la de reemplazar robots diseñados para la realización de varias tareas, por robots especialistas, esto se debe a que si bien los primeros presentan la ventaja de ser reutilizables por sus múltiples habilidades, en la práctica la mayoría de ellos efectúan la misma tarea durante toda su vida útil, por lo cual muchas de sus prestaciones caen en desuso, que por su tamaño, peso y complejidad, se convierten en robots ineficaces y costosos. (Skarin, 2004)

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

La metodología mecatrónica de diseño consiste en la sinergia de diferentes sistemas mecánicos, electrónicos y de control, para el desarrollo de sistemas más confiables flexibles y eficientes. (Bolton, 2006)

El presente proyecto inicia su desarrollo con la identificación de los requerimientos, especificaciones y restricciones del sistema, mediante el análisis de los problemas que tiene la empresa para producir los elementos del calefón que requieren soldadura. Una vez identificado el problema, se procede a plantear diferentes alternativas de máquinas que den solución al problema establecido, de las cuales al ser evaluadas se determina la que mejor se ajusta a satisfacer la necesidad del cliente.

Para la fase de diseño se procede a la elaboración detallada del sistema mecánico, electrónico y de control, de manera paralela y simultánea, dando lugar a la elaboración de los diferentes planos y diagramas de cada uno de los sistemas.

Por último se procede a la integración y verificación del sistema. Mediante la utilización de diferentes software se recrea el funcionamiento que tendrá la máquina en cada uno de sus sistemas, al igual que el análisis de factibilidad y retorno de la inversión.

REQUERIMIENTOS

- La máquina debe producir inicialmente un mínimo de 200 unidades al mes.
- Los elementos constitutivos del sistema deberán ser resistentes a la salpicadura producto de la soldadura.
- Los dispositivos eléctricos, deben tener protecciones ante posibles sobrecargas y en el caso de elementos móviles, el uso de guarda motores para evitar accidentes al ser operados.

RESTRICCIONES

El conjunto armado a ser soldado debe estar dentro del rango de movimiento del robot que tiene un radio de acción de 1811mm desde su base.

2.1 DISEÑO CONCEPTUAL

De acuerdo a Ingenieure V. D. (2004), un sistema mecatrónico está constituido básicamente por fuentes, sensores, actuadores, procesamiento de información, ambiente y usuario, en conjunta correlación.

En la Figura 1 se muestra el proceso para la obtención de conjuntos de piezas de cobre soldados.

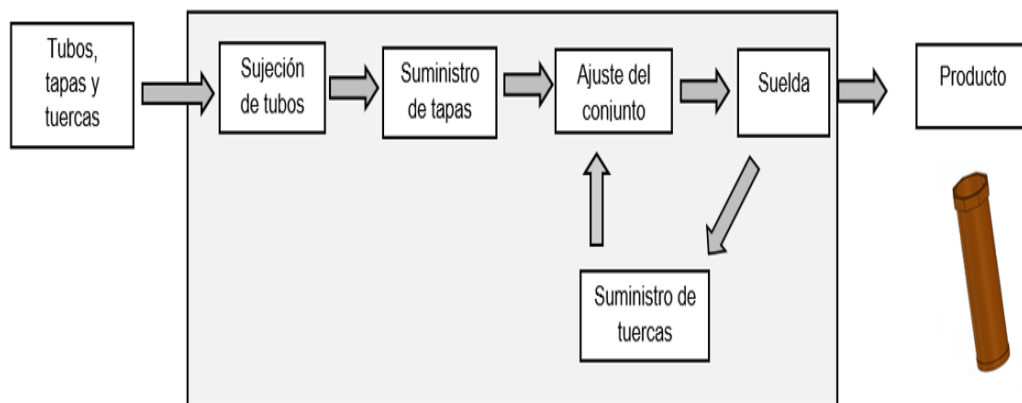


Figura 1. Flujo del Proceso

Tubos, tapas y tuercas. Son la materia prima que después de pasar por los diferentes procesos se convertirán en el producto del siguiente proceso.

Sujeción de tubos. Esta etapa consiste en sujetar los tubos de manera que no alteren su posición mientras se desplazan a lo largo del trayecto fijado para su ensamble y soldadura

Suministro de tapas. El suministro de tapas es un subproceso que consiste en incorporar al tubo de cobre este accesorio.

Suministro de tuercas. Al igual que las tapas se abastece con este accesorio a los tubos para completar el conjunto a ser soldado.

Ajuste del conjunto. En esta etapa se aseguran tanto las tapas como las tuercas al tubo de cobre, para que el proceso de soldadura se efectúe cumpliendo con la trayectoria programada para el robot.

Suelda. Consta de la programación de la trayectoria a seguir por el robot, para soldar los tubos y los accesorios establecidos.

Producto. El producto es el conjunto final armado y soldado, el cual posteriormente servirá como un subproducto para los siguientes procesos.

2.2 DISEÑO ESPECÍFICO

DISEÑO ELECTROMECAÁNICO

El diseño electromecánico describe los componentes mecánicos y dispositivos electrónicos que se utilizarán para el diseño de la estación de soldadura requerida.

BASE DE SUJECIÓN

La base de sujeción es un elemento clave en el diseño de la estación, puesto que es la encargada de posicionar el conjunto armado de piezas siempre en la misma posición para que el robot pueda ejecutar su rutina de soldadura. Su diseño demanda la combinación de elementos fijos y móviles que interactúan en un mismo espacio para poder obtener un proceso automatizado.

La sujeción de los tubos se realiza mediante el uso de pistones de doble efecto con características para trabajos de soldadura, como el recubrimiento del vástago con materiales antiadherentes que evitan la acumulación de incrustaciones de material desprendido producto del proceso de soldadura.

Otra de las tareas que la base debe cumplir, es la rotación en 180 grados del tubo, posterior a la soldadura de las tapas, lo cual permitirá el colocar en el otro extremo la tuerca para que pueda ser soldada al conjunto. Para conseguir este objetivo se optó por la utilización de un servomotor a pasos, el cual se desplazará a la posición de agarre del tubo gracias al movimiento proporcionado por un actuador lineal eléctrico que se acciona al retornar la base a la posición inicial, después de que el robot realice la primera soldadura.

La Figura 2 muestra el modelo CAD de la base de soldadura (1), en la cual se ubican guías (2) que permiten posicionar el tubo (4) y sujetarlos con los pistones neumáticos (3).

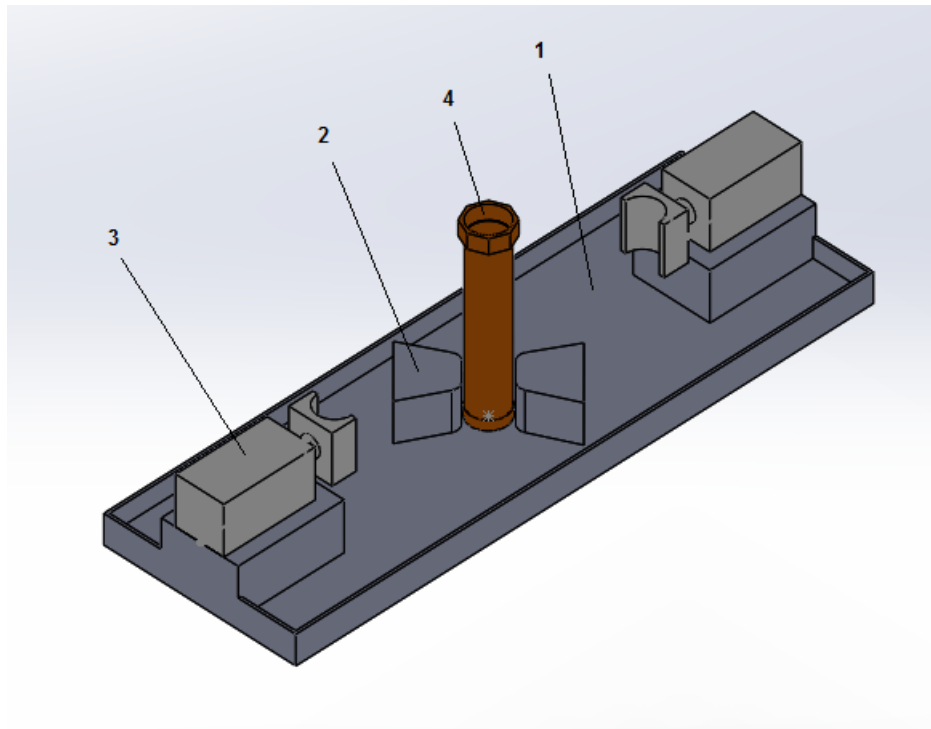


Figura 2. Modelo CAD de la base de soldadura.

La base de sujeción posee dos piezas guías en su centro, las cuales sirven para ubicar los tubos después de realizado el giro de 180° en la posición donde serán nuevamente asegurados por los pistones de sujeción para la segunda etapa de suelda. La Figura 3 muestra la disposición de las piezas guías, las cuales serán construidas a partir de un tubo circular sólido de acero 7210, de 100mm de diámetro y 50mm de altura. La línea de acción para permitir el giro de los tubos se encuentra a 45° con respecto al recorrido de los pistones de sujeción para evitar posibles colisiones al realizar el movimiento.

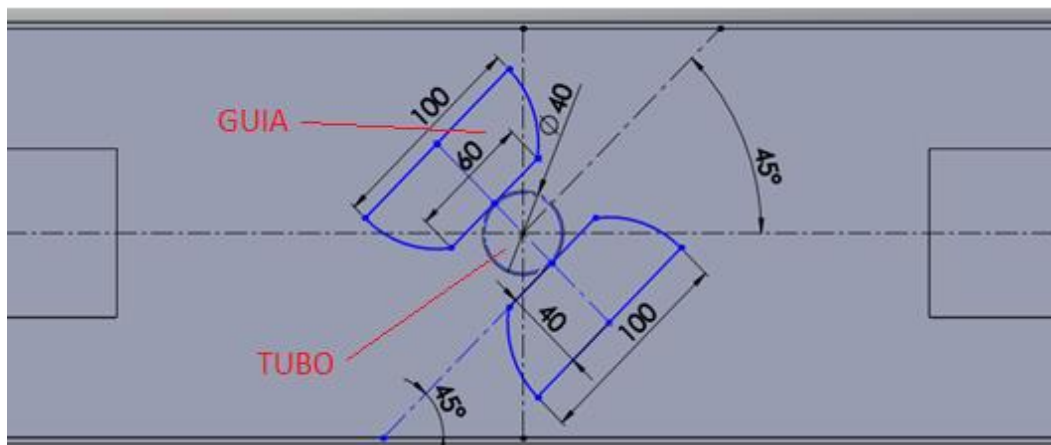


Figura 3. Dimensionamiento de guías para tubos.

La Figura 4 muestra el modelado CAD de las guías que posicionarán los tubos en el punto en el lugar requerido para efectuar los siguientes procesos.

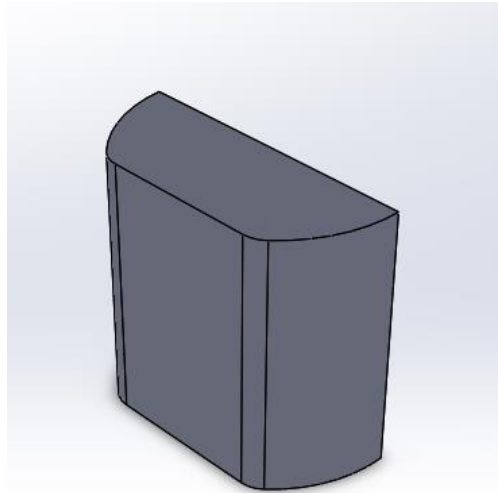


Figura 4. Modelado CAD de la guía.

Solidworks ofrece la posibilidad de calcular la masa de cualquier objeto a partir de su diseño. En el caso de la base de sujeción y sus diferentes elementos, se requiere conocer la masa total de este conjunto, para así poder establecer el motor requerido para la banda transportadora

Para obtener las piezas guías se requiere partir de un tubo circular sólido que será cortado de manera que se obtenga dos segmentos circulares, los cuales serán maquinados para obtener dos piezas como se muestra en la Figura 4.

Con base al catálogo proporcionado por el proveedor El Acero, el material que cumple con las dimensiones requeridas es al acero 7210, el cual posee resistencia al desgaste superficial y óptima maquinabilidad.

La masa obtenida de las guías es:

$$m_{guías} = 1.38 \text{ Kg}$$

Se debe considerar que la base requiere de dos piezas similares, por tal motivo el peso es de 2.76 Kg, valor el cual se suma al peso del resto de elementos que componen la base de sujeción.

La estructura de la base se muestra en la Figura 5, para la construcción de la estructura se requiere de planchas de acero, que de acuerdo a lo que se ofrece en el mercado local, la opción para realizar este tipo de trabajos es el acero ASTM A36. La base consta de dos soportes rectangulares, sobre los cuales se fijarán los pistones que sujetarán los tubos, para que la sujeción se de en la mitad de los tubos, los soportes deben tener una altura de 50mm.

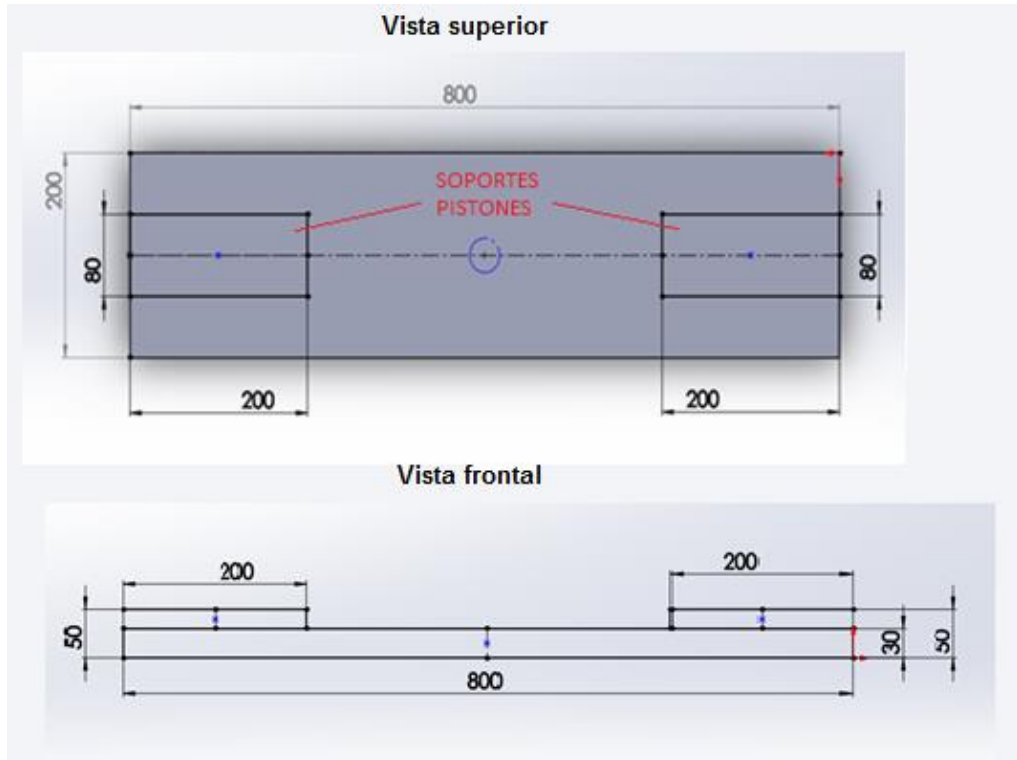


Figura 5. Vista superior y frontal del modelado CAD de la base de sujeción.

La masa de la base es: $m_{base} = 6.28 \text{ Kg}$

- **Sujetador pistón de sujeción**

Este elemento está diseñado para sujetar los tubos de manera que mantengan su posición vertical durante los diferentes procesos, el mismo que irá acoplado al pistón de sujeción. La Figura 6 muestra el modelado CAD del sujetador de los pistones.

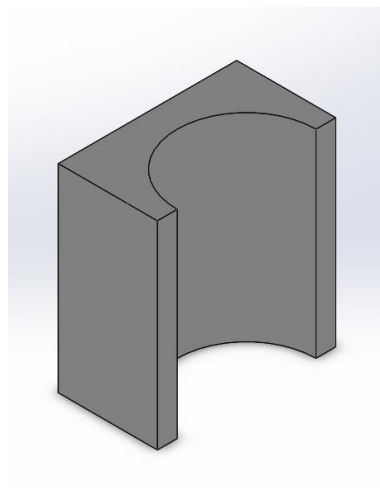


Figura 6. Modelado CAD sujetador de pistones.

La Figura 7 muestra las dimensiones del sujetador de pistón para tubos

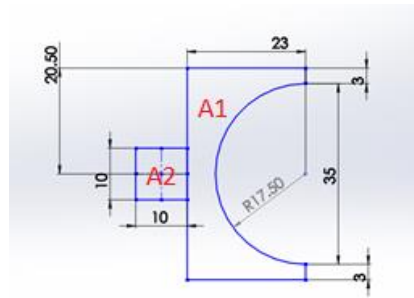


Figura 7. Dimensionamiento de sujetador de pistón.

La masa del sujetador de los pistones de sujeción es: $m = 0.117 Kg$

- **Sujetador de motor de giro**

Este elemento será el encargado de sujetar el tubo y por accionamiento del servomotor girar la pieza 180°. La Figura 8 muestra el modelo CAD de la pieza.

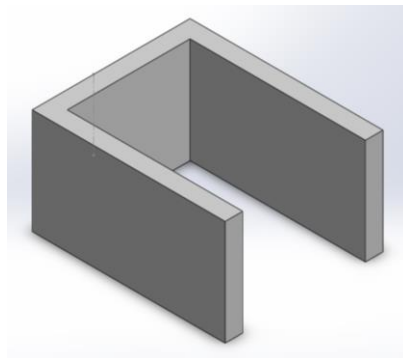


Figura 8. Modelado CAD del sujetador de motor de giro.

La Figura 9 muestra el dimensionamiento de la pieza.

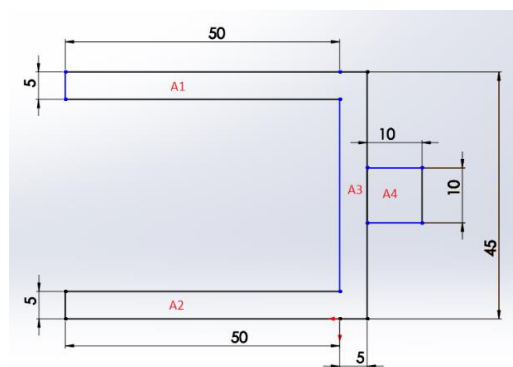


Figura 9. Vista superior del sujetador de giro.

La masa del sujetador de giro es: $m = 0.121Kg$

Una vez calculadas las masas de todos los elementos que constituyen la base de sujeción, se calcula el peso total de la estructura incluyendo los dos pistones. La Tabla 1 muestra los elementos que componen la base de sujeción, así como la masa de cada uno de ellos.

Tabla 1. Masas de los elementos de la base de sujeción.

ELEMENTO	MASA (Kg)
Guías de posición	2.760
Base	6.280
Sujetador pistón	0.117
Sujetador motor de giro	0.121
Pistones	3.108

$$m_{base\ de\ sujeción} = 12.386\ Kg$$

A partir de la masa de 12.386 Kg se dimensionará el motor de la banda transportadora.

SISTEMA MECÁNICO DE TRANSPORTE

El movimiento de los elementos a soldar se realizará mediante un sistema de banda transportadora, con un motor monofásico de corriente alterna que deberá cambiar su sentido de giro, al igual que regular la velocidad mediante un reductor mecánico.

La Figura 10 muestra el modelo CAD de la banda transportadora para este proyecto, la cual está en función de las dimensiones de la base de sujeción de las piezas, dando como resultado un ancho de 200mm, alto 700mm y largo 2000mm, se debe considerar que las bandas que se ofrecen en el mercado poseen la flexibilidad de variar en un par de centímetros el ancho, gracias a que los elementos de sujeción de las guías laterales son regulables. La estructura y soportes de la banda transportadora serán de acero inoxidable para reducir costos de mantenimiento causados por agentes externos que la puedan corroer. La banda será de caucho reforzado de alta resistencia. De acuerdo a la masa de 12.386 kg que se requiere transportar, el proveedor recomienda un motor monofásico de corriente alterna de 220V y de 250W de potencia que permite transportar hasta 20kg.

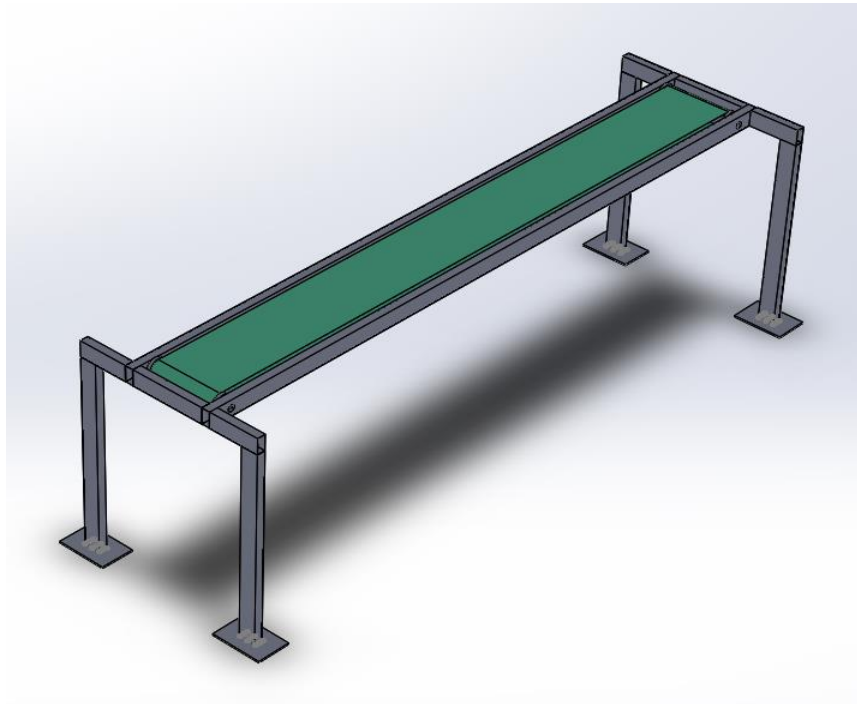


Figura 10. Modelo CAD de banda transportadora.

BANDEJAS DE SUMINISTRO DE ACCESORIOS

La bandeja de suministro de accesorios es la encargada de abastecer a los tubos de las piezas que serán soldadas en sus extremos, se construirán en acero ASTM A36 a partir de placas de 3mm de espesor y de tubos cuadrados de 25mm por lado y 3mm de espesor. La Figura 11 muestra el diseño CAD de la estructura de suministro.

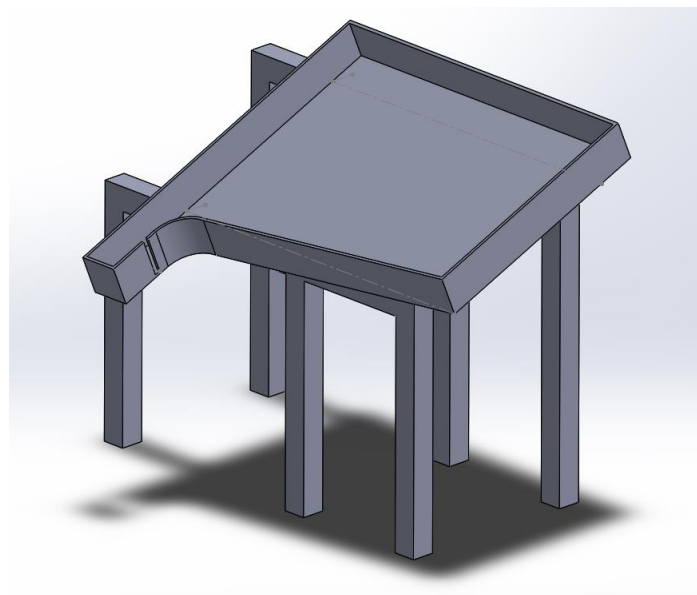


Figura 11. Modelo CAD de la bandeja de suministro de piezas.

Las piezas se deslizarán sobre la bandeja que se encuentra inclinada a 30°, este valor fue determinado de manera experimental con el uso de una placa de acero y los accesorios que serán soldados. Para lograr esta condición la estructura tendrá 2 soportes con las medidas mostradas en la Figuras 12 y 13 respectivamente.

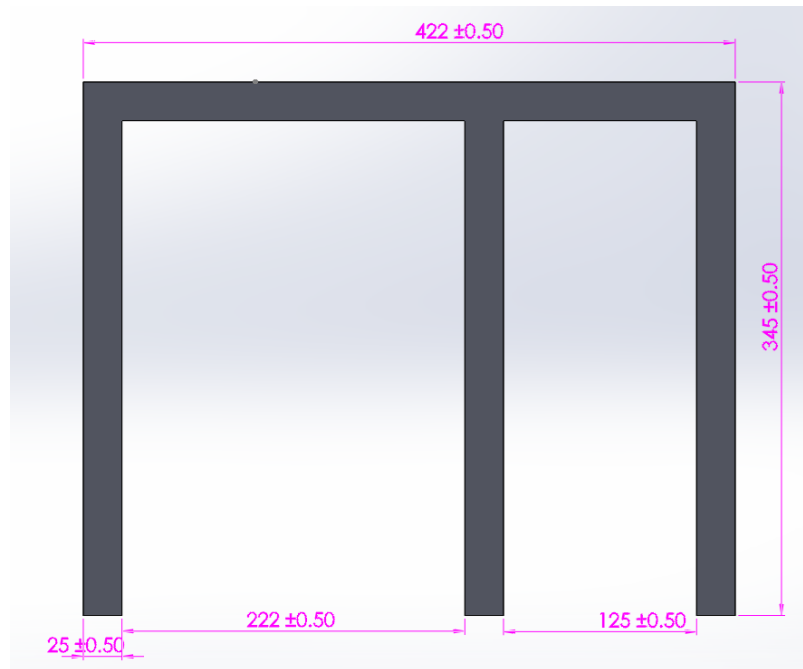


Figura 12. Vista frontal soporte 1.

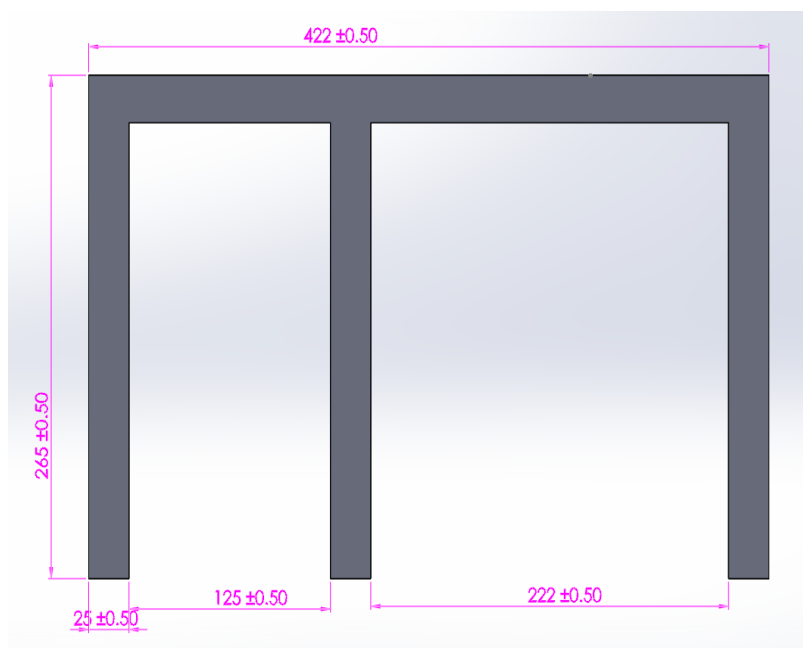


Figura 13. Vista frontal soporte 2.

La Figura 14 muestra el modelo CAD de las bandejas que irán sobre los soportes, las cuales están diseñadas para almacenar 100 piezas, serán las

mismas tanto para tapas como para tuercas y se las construirán a partir de planchas de acero de 3mm de espesor.

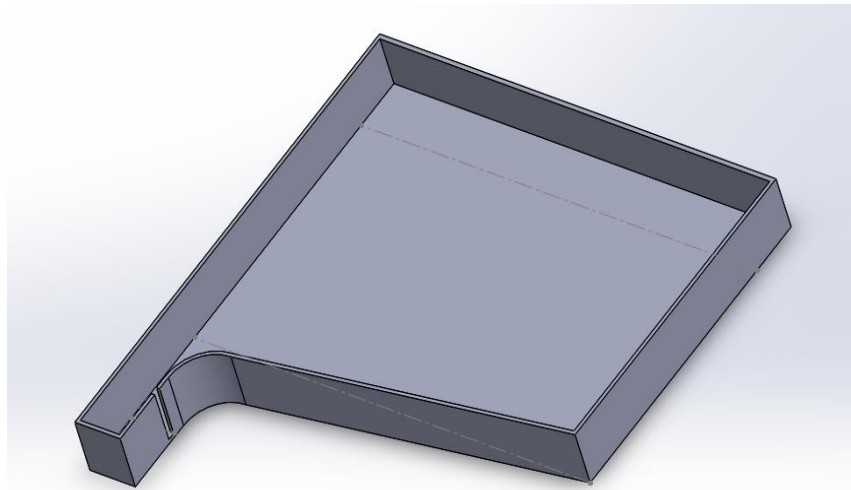


Figura 14. Modelo CAD de la bandeja de suministro.

La Figura 15 muestra la vista superior de la bandeja y las medidas que tendrá la misma.

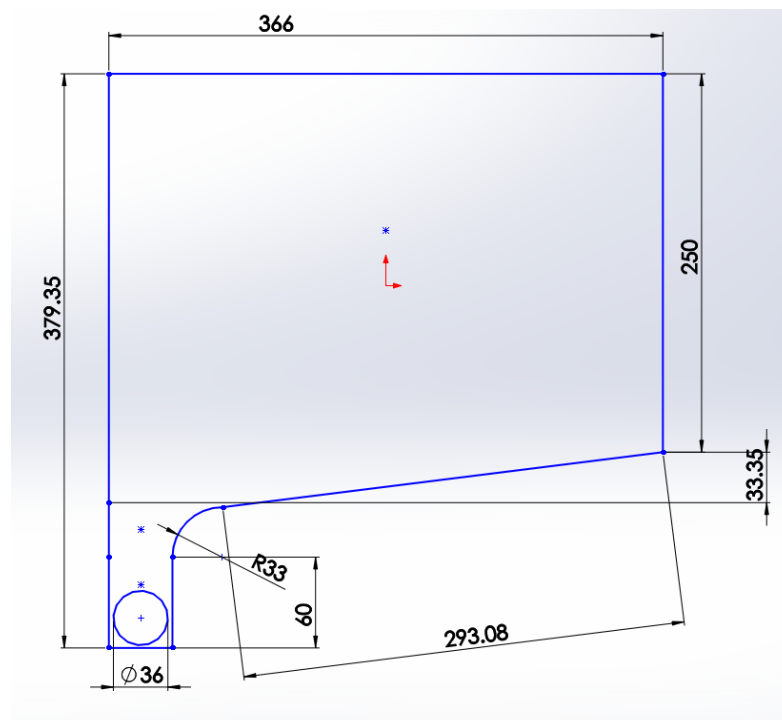


Figura 15. Vista superior de la bandeja de suministro.

La Figura 16 muestra el modelado CAD de la estación de soldadura finalizada, así como los principales elementos que la componen.

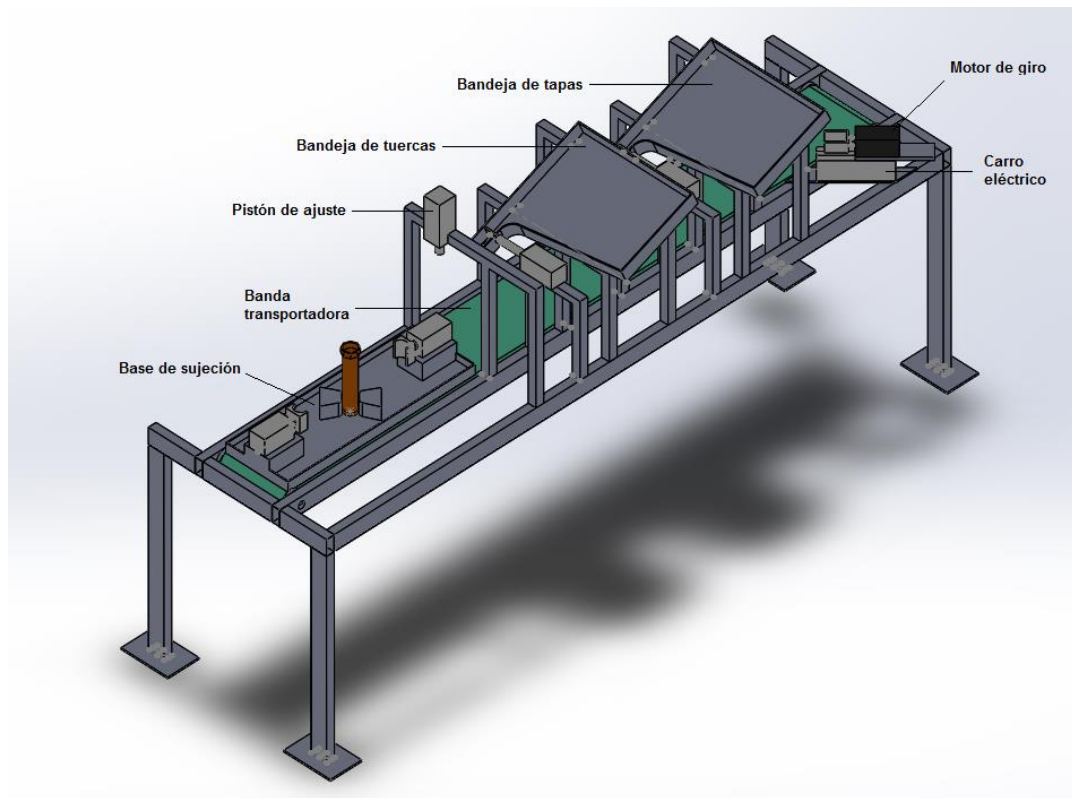


Figura 16. Modelado CAD de estación de soldadura.

DISEÑO SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático es el responsable de la sujeción del conjunto a ser soldado, así como también está a cargo de controlar el abastecimiento de los dos accesorios a los tubos de cobre y la compactación del conjunto armado. La alimentación de aire comprimido de acuerdo a una de los requerimientos será provista por el sistema central de fuerza, del cual se abastecerá a los elementos neumáticos de la máquina.

- **Pistones de doble efecto**

Los pistones de doble efecto sujetan los tubos de cobre para que estos permanezcan en posición vertical durante todo su recorrido, otra de sus funciones es la de apertura y cierre de las compuertas para el abastecimiento tanto de tapas como de tuercas, además el ajuste del conjunto armado.

La Figura 17 muestra el diseño y simulación del circuito electro neumático para el accionamiento de los pistones que sujetan los tubos, así como también de los pistones que se encargan de abrir y cerrar las compuertas de las bandejas que suministran tanto las tapas como las tuercas para su posterior soldadura.

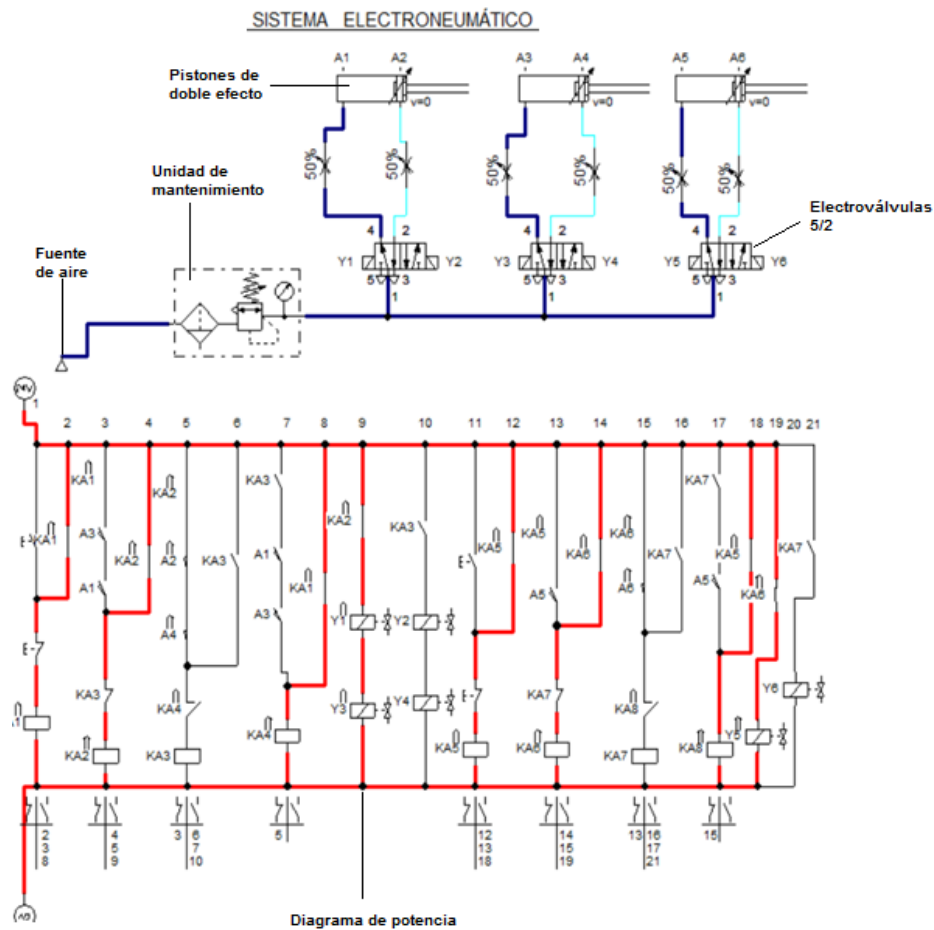


Figura 17. Diagrama del sistema electro neumático.

Debido a la posibilidad de salpicaduras de material producto del proceso de soldadura, es necesario la utilización de pistones diseñados para este tipo de trabajos con la finalidad de evitar daños en sus componentes. Con base en el catálogo proporcionado por el proveedor se seleccionó el pistón DFAW-50-150-CRB4-PPSA de la marca FESTO, en la Tabla 2 se muestra las características básicas del actuador.

Tabla 2. Características pistón DFAW-50-150-CRB4-PPSA

Pistón neumático marca FESTO DFAW-50-150-CRB4-PPSA	
Carrera	0.150 m
Diámetro émbolo	0.050 m
Posición de montaje	Indistinto
Detección de posición	Sensores de proximidad
Temperatura ambiente	-263.15° ... 60° K
Fuerza retroceso	990 N
Fuerza de avance	1178 N
Material del vástago	Acero templado / cromado duro
Conexión neumática	G ¼

(Festo, Cilindro articulado DFAW, 2016)

En el mismo manual de FESTO, se indica también la fórmula con la cual se puede calcular el consumo de aire.

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) * d^2 * c * n * P * N * 10^{-6}$$

Donde:

Q = consumo de aire (NI/min)

d = diámetro del cilindro = 50mm

c = carrera del cilindro = 150mm

n = número de ciclos completos por minuto = 1

P = Presión absoluta = Presión relativa de trabajo + 1 bar = 7 bar

N = Número de efectos del cilindro = 2

$$Q = 6.9 \times 10^{-6} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

En el caso de los pistones que abren y cierran las compuertas, así como el pistón de ajuste, la carrera del cilindro será de 50mm, por tanto:

$$Q = 1.9 \times 10^{-5} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

El consumo total de aire es el resultado de la sumatoria de los caudales de cada uno de los pistones neumáticos seleccionados, con una presión de trabajo de 6 bares.

$$Q = 2.06 \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

El valor de $2.06 \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{s}$ es necesario para dimensionar el sistema central de abastecimiento de aire comprimido.

DISEÑO ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

El control del sistema está compuesto por las rutinas a cumplir tanto por la máquina, así como también por el robot soldador, lo cual permite la interacción y optimización del proceso.

SENSORES

Los sensores seleccionados para esta máquina son:

- **Sensor inductivo IFM IFW204.** Para esta aplicación se requiere que los sensores estén diseñados para trabajar en tareas de soldadura con la finalidad de evitar conmutaciones erróneas debido a los campos electromagnéticos generados, así como también deben poseer revestimientos antiadherentes que eviten la acumulación de suciedad causada por proyecciones de soldadura. Para el presente proyecto se requiere de cinco sensores que serán utilizados para determinar la ubicación de la base de sujeción de tubos con respecto a la banda transportadora, los dos primeros estarán ubicados uno al inicio y el otro al final de la banda, los otros tres se colocarán en cada una de las posiciones respecto a las bandejas de suministro de piezas y compactación de conjuntos armados.

A continuación la Tabla 3 presenta las especificaciones del sensor inductivo IFM IFW204

Tabla 3. Características del sensor IFW204

Especificaciones generales Sensor de posición IFW204	
Voltaje	24 v DC
Corriente	<0.2 A
Temperatura de operación	-233.15° ... 353.15° K
Alcance	0.004 m
Indicación del estado de conmutación	Amarillo
Protección contra cortocircuito	
Protección contra inversión de polaridad	
Resistencia a sobre cargas	

(IFM, 2015)

- **Sensor CRSMT-8M-PS-24V-K-0,3-M12.** Para determinar la posición de cada uno de los vástagos, se requiere de dos sensores por cada uno de los pistones utilizados, en este caso un total de doce sensores. La Tabla 4 muestra las especificaciones generales del sensor seleccionado.

Tabla 4. Características del sensor CRSMT-8M-PS-24V-K-0,3-M12

Especificaciones generales Sensor de proximidad CRSMT-8M-PS-24V-K-0,3-M12	
Voltaje	24 v DC
Corriente	<5 x 10 ⁻⁵ A
Temperatura de operación	-233.15° ... 358.15° K
Protección contra cortocircuito	
Resistencia a sobre cargas	

(Festo, 2016.)

MOTOR DE GIRO

Un aspecto de suma importancia en el proyecto es la interacción de partes móviles y fijas, el motor permite girar a la pieza después del primer proceso de soldadura para ubicar la tuerca en el otro extremo del tubo y de esta manera proceder con el segundo proceso de soldadura.

Para establecer las características específicas del motor a seleccionar, se debe efectuar el cálculo del torque requerido para realizar el giro de las piezas, para ello es necesario calcular la fuerza total mediante la sumatoria de:

- Fuerza del tubo armado
- Fuerza de la pinza que sujeta la pieza armada

$$F_T = 4.586 \text{ N}$$

Con la fuerza total calculada, se obtiene el troque final ejercido en función de la distancia 0.1m.

$$\tau = 0.458 \text{ Nm}$$

El torque de 0.458 Nm es el necesario para que el motor gire el tubo 180° previo al proceso de la segunda soldadura. La Tabla 5 muestra las especificaciones generales del servomotor Schneider BSH0551T31F1A

Tabla 5. Características servomotor BSH0551T31F1A

Especificaciones generales del servomotor Schneider BSH0551T31F1A	
Especificaciones	Valor
Voltaje de operación	115 v
Potencia	150 w
Corriente	$3 \times 10^{-3} \text{ A}$
Torque	0.5 Nm
Peso	1.3 Kg

(Shneider, 2016)

El servomotor seleccionado que posee un torque de 0.5 Nm, valor superior al calculado, lo cual permite un mayor tiempo de vida útil al no trabajar a su máxima potencia.

ACTUADOR LINEAL

El actuador lineal desplazará al servomotor hasta el punto de giro de los tubos con la finalidad de evitar posibles colisiones al momento de arrancar la banda transportadora y desplazar la base de soldadura.

En función de la fuerza ejercida por el servomotor sobre la plataforma del mini carro que es de 1.3Kgf y la carrera requerida de 200mm, se selecciona el actuador en el catálogo de productos.

La Tabla 6 muestra las especificaciones básicas del mini carro EGSL tamaño 45.

Tabla 6. Características de mini carro EGSL 40

Especificaciones generales mini carro EGSL 40	
Carrera de trabajo	0.2 m
Carga útil máx. admisible en vertical	6 Kg
Fuerza de avance permanente Fx.	100 N
Voltaje	24v DC
Velocidad máxima	1 m/s
Precisión de repetición	+/- 1.5×10^{-5} m

(Festo, 2016)

FUENTE DE VOLTAJE

El sistema requiere de fuentes de 24v destinadas a alimentar sensores, servomotor y electroválvulas.

La Tabla 7 muestra las características básicas de la fuente de voltaje.

Tabla 7. Especificaciones fuente WAGO 787-722

Especificaciones generales fuente WAGO 787-722	
Tensión de entrada Mín.	85v AC
Tensión de entrada Máx.	264 VAC
Potencia de salida Máx.	120 W
Tensión de salida	24 VDC

(Wago, 2014)

Para el caso del sistema de control, la fuente de alimentación depende del tipo de dispositivo seleccionado en función de sus características.

SISTEMA DE CONTROL

Al momento de seleccionar el dispositivo de control, los PLC's a escala industrial son la mejor opción, esto debido a su confiabilidad al ejecutar las tareas, la facilidad de programación, seguridad en los procesos, fácil instalación e interfaces de comunicación que permiten monitorear los procesos.

Para escoger el PLC es necesario determinar el número de entradas y salidas del sistema, así como también la complejidad de las rutinas a ejecutar, de igual manera debe contar con puertos que le permitan enlazarse mediante redes a otras máquinas, en función a dichos criterios el PLC seleccionado es el Siemens LOGO! 230RC.

La Tabla 8 muestra las características principales del PLC.

Tabla 8. Características PLC LOGO! 230RC

PLC Siemens LOGO! 230RC	
Voltaje	115 / 230 V AC
Entradas digitales	24
Entradas analógicas	6
Salidas digitales	16
Salidas analógicas	2
Rango de temperatura de trabajo	273.15°...328.15° K
Protección contra cortocircuitos	SI

(Siemens, 2003)

Este dispositivo posee 8 entradas y 4 salidas, las cuales pueden aumentar su número mediante módulos de ampliación de 4 entradas y 4 salidas cada uno.

- **PROGRAMACIÓN DE PLC**

La Tabla 9 muestran las variables de entradas y salidas consideradas para la programación del PLC.

Tabla 9. Entradas y salidas del programa del PLC

ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC		
	Función	Variable
1	Encendido máquina	I1
2	Inicio fase tapas	I2
3	Posición inicial de base	I3
4	Posición inicial vástago pistón tapas	I4
5	Posición tapas suministro	I5
6	Posición final vástago pistón tapas	I6
7	Posición de base respecto a ajuste y tapas	I7 - I8
9	Apagado de la máquina	I9
10	Inicio fase tuercas	I10
11	Fin fase tapas / Fin fase tapas	I11 - I12
13	Paro de emergencia	I13
14	Posición inicial vástago pistón sujeción 1 y 2	I14 - I15
16	Posición final vástago pistón sujeción 1 y 2	I16 - I17
18	Posición vástago pistón ajuste	I18
19	Posición de base respecto a tuercas	I19
20	Posición inicial vástago pistón tuercas	I20
21	Posición final vástago pistón tuercas	I21
22	Posición inicial vástago carro	I22
23	Posición final de base	I23
24	Posición final vástago carro	I24
25	Ajuste de tubos 1	Q1
26	Avance banda	Q2
27	Apertura de compuerta tapas	Q3
28	Ajuste de piezas	Q4
29	Desajuste tubos	Q5
30	Cierre de compuerta tapas	Q6
31	Ajuste de tubos 2 / Desajuste tubos 2	Q7 - Q8
32	Apertura compuerta tuercas	Q9
33	Cierre compuertas tuercas	Q10
34	Retroceso de banda	Q11
35	Avance carro motor / Retroceso carro motor	Q12 - Q13
36	Motor de giro de tubos	Q14

Las Figura 18 muestra el proceso que realiza la estación de soldadura, en la cual se describe cada una de las etapas que cumple para la obtención del producto final.

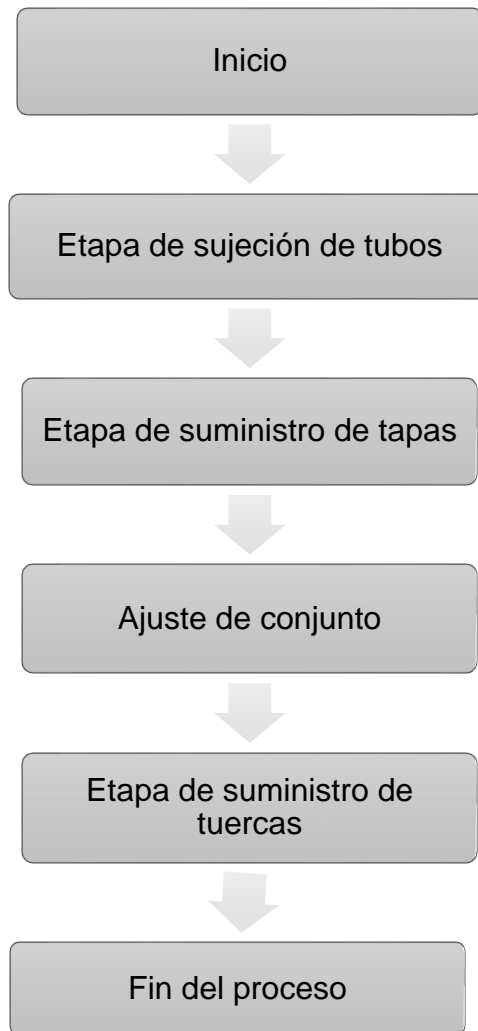


Figura 18. Proceso ejecutado por el PLC.

Inicio. En esta etapa la máquina es energizada y se encuentra lista para el inicio del proceso.

Etapa de sujeción de tubos. La máquina al detectar a través de un sensor la presencia del tubo de cobre, envía la señal a las bobinas de las electroválvulas para activar los pistones y sujetar al tubo en la posición deseada.

Etapa de suministro de tapas. En esta etapa la banda transportadora lleva a la base de sujeción hasta la bandeja de suministro de tapas, donde al activarse el pistón, coloca una tapa en el extremo superior del tubo, posteriormente la banda vuelve a activarse hasta la siguiente etapa.

Ajuste de conjunto. Al llegar la bandeja al pistón de ajuste, nuevamente la banda se detiene y se activa el pistón que asegura tanto las tapas como las tuercas al tubo de cobre respectivamente. Luego se activa nuevamente la banda hasta llegar a la posición donde se efectuará el proceso de soldadura.

Etapas de suministro de tuercas. Una vez que la tapa ha sido soldada al tubo, la banda transporta nuevamente a la base de sujeción a la posición inicial, donde se desactiva los pistones de sujeción y se acciona el carro eléctrico, que al llegar al final de su recorrido el sensor envía la señal para activar el motor que gira al tubo 180°, una vez realizado el giro el carro eléctrico regresa a su posición inicial y envía la señal para que nuevamente los pistones de sujeción se accionen.

Fin. Retorno de la base de sujeción a la posición inicial y desajuste del conjunto final soldado.

- **PROGRAMACIÓN DEL ROBOT**

La programación del robot se realizará en base al manual de programación propio de la marca, con la cual se establecerá la trayectoria que seguirá la antorcha para soldar el conjunto de piezas. La Figura 19 muestra el proceso para la programación del robot.

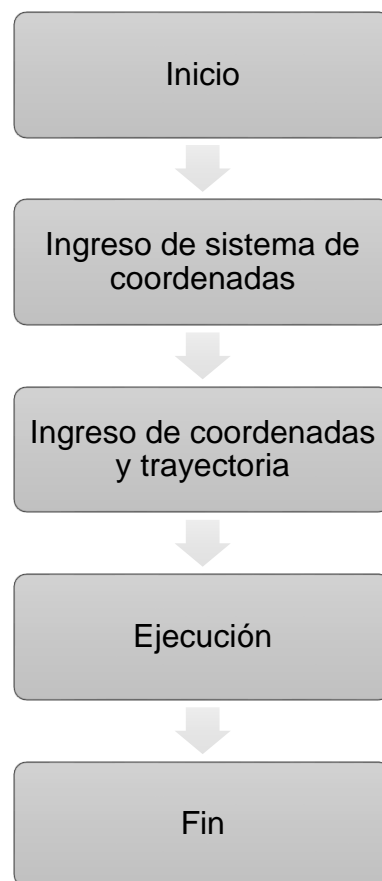


Figura 19. Proceso de programación del Robot.

Inicio

En esta etapa se enciende el controlador, se verifica que todas las alarmas se encuentren apagadas, se habilita el Teach Pendant, se selecciona la creación de un nuevo programa y se ingresa el nombre del mismo.

Ingreso sistema de coordenadas TCP

Consiste en establecer el sistema de coordenadas a utilizar para el posterior ingreso de los puntos.

Ingreso de coordenadas y trayectoria

En primer lugar se establece el punto de inicio desde donde parte el robot cada una de las rutinas, luego se establece una trayectoria que lleve al robot hasta un punto próximo al inicio de la soldadura, posteriormente se establece el primer punto en donde iniciará la soldadura, al ser una trayectoria circular se definirán cuatro puntos equidistantes que se interpolan en función de la trayectoria y la velocidad establecidas.

Ejecución

En este paso se ejecuta una por una las líneas de programación ingresadas para establecer posibles fallas en la programación e ingreso de puntos, para que de esta manera se evite colisiones con objetos e incluso accidentes durante el funcionamiento del robot.

El programa se guarda una vez ejecutado y validando su correcto funcionamiento. Para este proyecto el operador es el encargado de seleccionar y correr el programa correspondiente a la suelta respectiva.

Las Figura 20 muestran el entorno de simulación generado, en donde se establece el eje de coordenadas en el punto más próximo al extremo de la antorcha de soldadura, el cual será el punto de partida para el programa.

Posteriormente se realiza las aproximaciones de la antorcha a un punto cercano al conjunto a ser soldado, luego con una aproximación fina se establece el punto inicial del recorrido para la soldadura; en relación a este punto se deben ingresar los otros tres, los cuales deberán ser equidistantes y se interpolarán mediante trayectorias circulares.

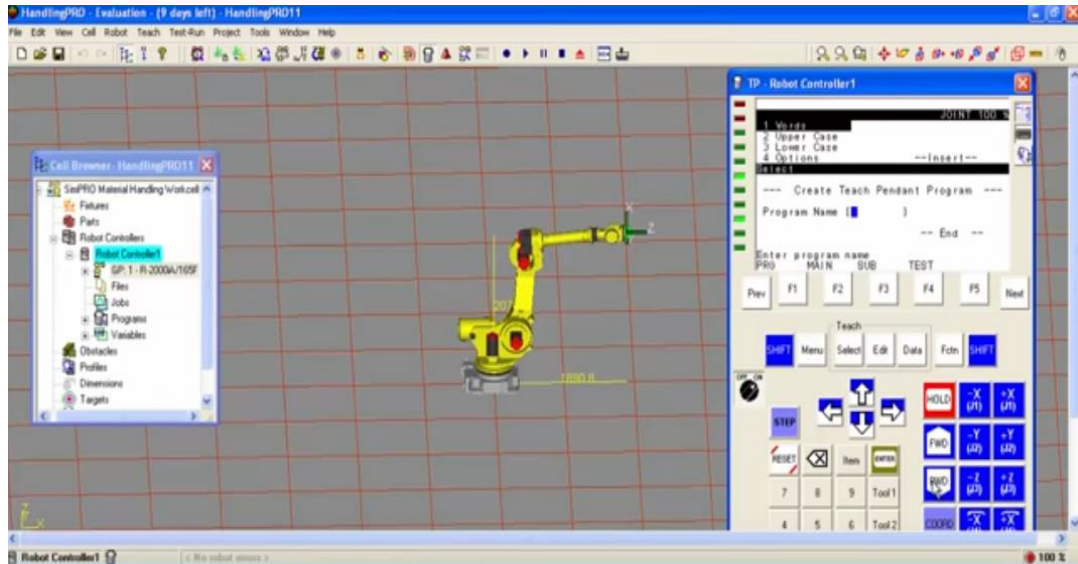


Figura 180. Simulación de programación en HandlingPRO.

La Figura 21 muestra las pruebas en sitio en una de las estaciones de soldadura, donde se observa el robot Fanuc 120i ejecutando el programa de ingresado a través del Tech Pendant



Figura 21. Trabajos en fábrica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se indicará los resultados obtenidos a partir del diseño de la estación automatizada de soldadura.

CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA DISEÑADA

La Figura 22 muestra las características generales de la estación automatizada de soldadura diseñada para tubos 1 ¼ de pulgada.

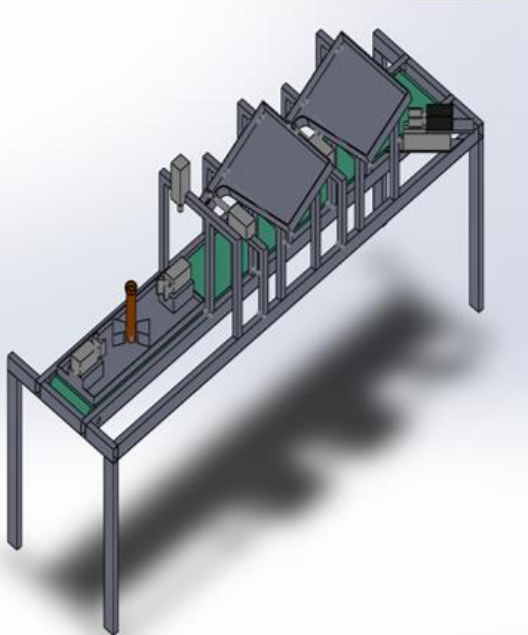
ESTACIÓN AUTOMATIZADA DE SOLDADURA	
	Características
	Permite el armado de conjuntos compuestos por tubos y accesorios de 1 1/4 de pulgada.
	Estructura fabricada en acero 7210 y ASTM A36
	Produce 1 pieza completa cada 2 minutos
	Voltaje de 220v AC y 24v DC
	Control mediante PLC Logo 230RC
	Requiere alimentación neumática
	Banda transportadora con estructura en acero inoxidable, banda de caucho reforzado de alta resistencia y motor monofásico de 0.25kW
	Posee dispositivos y materiales diseñados para soldadura

Figura 192. Gráfica y características básicas de la máquina diseñada.

El diseño se encuentra en función de materiales disponibles en el mercado local, a excepción de los pistones que deben importarse bajo pedido.

PANEL DE CONTROL

La Figura 23 muestra el panel de control de la máquina, así como las opciones y la función de cada una de ellas.

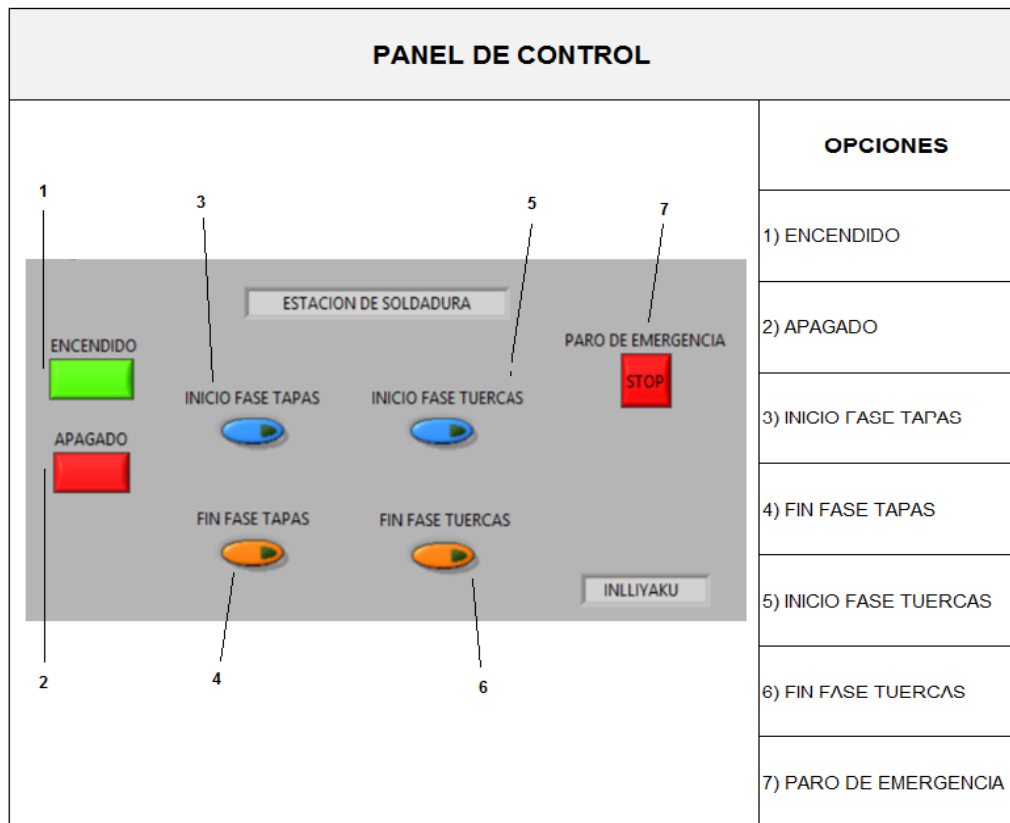


Figura 203. Panel de control y descripción de funciones.

La interfaz brinda un entorno intuitivo de operación para el personal a cargo del proceso, el mismo que debe tener conocimientos en soldadura para evaluar el producto obtenido. El funcionamiento de la máquina es el siguiente:

1. **Encendido.** Energiza todos los dispositivos de la estación
2. **Apagado.** Desenergiza toda la máquina.
3. **Inicio fase tapas.** Arranca la fase de suministro de tapas.
4. **Fin fase tapas.** Una vez finalizada la soldadura de tapas, regresa la base al inicio.
5. **Inicio fase tuercas.** Arranca la etapa de suministro de tuercas.
6. **Fin fase tuercas.** Una vez finalizada la soldadura de tuercas, regresa la base al inicio.
7. **Para de emergencia.** En caso de presentarse una emergencia, corta la energía a todos.

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Para determinar la capacidad de producción de la máquina es necesario establecer el tiempo que tarda en producir un conjunto soldado completo.

El tiempo que demora la base de sujeción a través de la banda transportadora en recorrer desde el punto de inicio hasta el final y viceversa es de 24 segundos a una velocidad de 0.167 m/s.

Para determinar el tiempo empleado por el operador para realizar las tareas de selección de comandos tanto de la máquina como del robot, se empleó de manera experimental un panel de control similar al diseñado para la máquina y la utilización del Teach Pendant para el caso de la selección del programa del robot. La Tabla 10 muestra los resultados de las pruebas experimentales de la selección de comandos.

Tabla 10. Pruebas de selección de comandos a cargo del operador.

	Tiempo (s)
Prueba 1	25
Prueba 2	23
Prueba 3	20
Prueba 4	19
Prueba 5	20

El tiempo promedio resultante de las pruebas presentadas en la Tabla 10 es de 21.4 segundos.

En el caso del tiempo empleado para la ejecución del programa por parte del robot para cada uno de los dos procesos de soldadura es de 25 segundos respectivamente.

Como resultado final se obtiene un promedio de 0.5 piezas por minuto, lo que significa que cada 2 minutos se obtendrá una pieza completa. Si se considera una jornada laboral de 8 horas diarias, la producción será de 240 piezas por día aproximadamente.

RETORNO DE LA INVERSIÓN

Para tomar la decisión de realizar la inversión de compra de la presente estación de soldadura, la empresa debe realizar un estudio económico basado en los siguientes criterios:

- VAN: valor actual neto
- Si VAN es mayor a 0, la adquisición es favorable, caso contrario la inversión no debería realizarse.
- TIR: tasa interna de retorno, cuanto mayor sea a la tasa de corte, el proyecto es rentable.

VALOR DE LA MÁQUINA

En la Tabla 11 se detallan los costos considerados para la construcción de la estación de soldadura, los cuales han sido obtenidos en base a cotizaciones de proveedores locales.

Tabla 11. Costo de construcción de la estación de soldadura

CONCEPTO	VALOR
Estructura y banda transportadora	\$4,800
Componentes neumáticos	\$2,900
Componentes electrónicos	\$2,700
Diseño máquina	\$1,500
Programación Robot	\$1,000
Total	\$12,900

Los valores detallados en la Tabla 11, están en función de las cotizaciones realizadas a proveedores de la ciudad de Quito entre los meses de noviembre y diciembre del año 2016.

FLUJO DE CAJA

La Tabla 12 muestra el flujo de caja de la empresa basado en las proyecciones de ventas estimadas.

Tabla 12. Flujo de caja.

FLUJO DE EFECTIVO							
DETALLE	INICIAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL
INGRESOS		372,000	409,200	468,000	507,000	590,000	2,346,200
EGRESOS		240,000	277,200	342,800	390,000	456,000	1,706,000
UTILIDAD		132,000	132,000	125,200	117,000	134,000	640,200
PAGO DE PRÉSTAMO		25,000	30,000	20,000	20,000	20,000	115,000
Costo de la Maquinaria	-12,900				-	-	-
FLUJO DE EFECTIVO	-12,900	107,000	102,000	105,200	97,000	114,000	525,200

En función de la utilidad generada menos los pasivos correspondientes al pago de préstamos, se puede determinar si la inversión necesaria para la adquisición de la máquina es viable y el tiempo estimado para la recuperación de dicha inversión.

En la Tabla 13 se puede apreciar los resultados del cálculo de VAN, TIR y el tiempo de retorno de la inversión.

Tabla 13. Resultados VAN, TIR y tiempo de retorno de inversión.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	204%
TASA INTERNA DE RETORNO (VAN)	\$11,800.19
RETORNO DE INVERSIÓN	6 MESES

Según el resultado del flujo de caja y el análisis realizado en base a los indicadores de factibilidad de inversión se puede apreciar la rentabilidad que existe de optar por la adquisición de la máquina.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La efectividad del proceso de acuerdo al diseño de la máquina, depende de la destreza y la correcta capacitación del personal que sea destinado a operarla, puesto que es el operador quien realiza la comunicación entre la máquina y el robot, por tal motivo el tiempo que demore en seleccionar y ejecutar el programa, insidirá directamente en la producción.
- La celda cuenta con elementos de protección que permite evitar posible fallas o accidentes al estar en operación, esto gracias a que en cada subproceso el programa verifica que se cumplan diferentes condiciones de manera simultanea para permitir la ejecución del siguiente proceso.
- La capacidad estimada de producción de la celda en comparación a la requerida por parte de la empresa, muestra una amplia diferencia, esto debido a que en una jornada laboral de 8 horas se cubriría el lote mensual inicial que es de 200 unidades, por tal motivo al ser un diseño de la etapa inicial, es importante analizar la factibilidad de incorporar los siguientes procesos relacionados con soldadura a la misma línea de producción, con la finalidad de optimizar los tiempos y recursos destinados para la producción.
- El presente proyecto debido a su costo final y a las condiciones presupuestarias iniciales de la empresa, esto considerando que aún no se encuentra en producción, lo ubica como un proyecto a mediano plazo, lo cual estará en función del cumplimiento de las proyecciones de venta que tiene la empresa estimadas, debido a que en el escenario de cumplirse con las metas establecidas el retorno de la inversión será de 6 meses.
- La adquisición de un robot de segundo uso como el utilizado en este proyecto representa económicamente una ventaja para la empresa, con un ahorro de aproximadamente el 50% respecto a un robot nuevo, pero con la desventaja de que a nivel nacional es escasa la oferta de soporte técnico especializado y en el caso de la marca Fanuc específicamente no fue posible obtener asistencia dentro del país.

RECOMENDACIONES

- Se debe considerar la posibilidad de incorporar otros procesos que permitan acoplar un mayor número de piezas al conjunto, con lo que se podría utilizar la misma estructura o de ser el caso modificar sus dimensiones para evitar gastos innecesarios en nuevos equipos.
- El mantenimiento preventivo es la base para garantizar el tiempo de vida útil de cualquier equipo, por tal motivo se recomienda que de manera periódica el operador realice tareas de limpieza de todos los componentes, para que mediante una inspección visual pueda detectar posibles fallas o fugas; de igual forma se debe realizar la correcta lubricación de los puntos que la requieran y ofrecer la respectiva capacitación al personal a cargo de la operación de la máquina.
- Para optimizar la producción se debería crear una red industrial que permita unificar el proceso de armado con el de soldadura, de tal forma que operen de manera automática y así lograr una mayor optimización del proceso, reduciendo los cuellos de botella.
- Las bandejas de suministro de tapas y tuercas, podrían ser reemplazadas por tolvas vibratorias, esto debido a su mayor capacidad de almacenamiento, así como la ventaja de posicionar todas las piezas con una misma orientación de acuerdo a lo que requiera la máquina, como por ejemplo las tapas con su cara hueca orientadas hacia abajo.
- En el caso de optar por la adquisición de un robot de segundo uso, se recomienda tomar el servicio que ofrecen las mismas empresas comercializadoras de instalar el robot en sitio y que mediante la realización de las respectivas pruebas de funcionamiento, lo dejen listo para iniciar con el proceso productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. (Tercera ed.). México: Pearson Education Limited.
- Cassani, M. (s.f.). *Robótica industrial en la Argentina*. Obtenido de <https://marcelocassani.files.wordpress.com/2011/08/robotics.pdf>
- Domingo, A. (2010). *Robots industriales y su impacto en la industria*. Paraninfo.
- Dumberg, K. (2007). *Operaciones especializadas de soldadura*. ABB, 63-64.
- Fanuc. (2016). *Soldadura por arco*. Obtenido de <http://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/soldadura-por-arco>
- Festo. (15 de 11 de 2016). *Cilindro articulado DFAW*. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/products_DFAW
- Festo. (2016). *Minicarros EGSL eléctrico*. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/EGSL_ES.PDF
- Festo. (s.f.). *Sensores de proximidad*. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-co_co/products_SMT8
- Fu, K., González, R., & Lee, C. (1988). *Robótica: control, detección, visión e inteligencia*. Madrid: McGraw-Hill.
- IFM. (2015). *Ecuainsetec*. Obtenido de <http://www.ecuainsetec.com.ec/es/lineas/31/ifm>
- Ingenieure, V. D. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*. Düsseldorf.
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura: principios y aplicaciones*. Paraninfo.
- Liste, V. (2016). *Soldadura*. Obtenido de <http://www.irbsolutions.com/pdf/soldadura.pdf>
- Shneider. (2016). *Servo Motors*. Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/en/product/BSH0551T31F1A/ac-servo-motor-bsh---0.5->

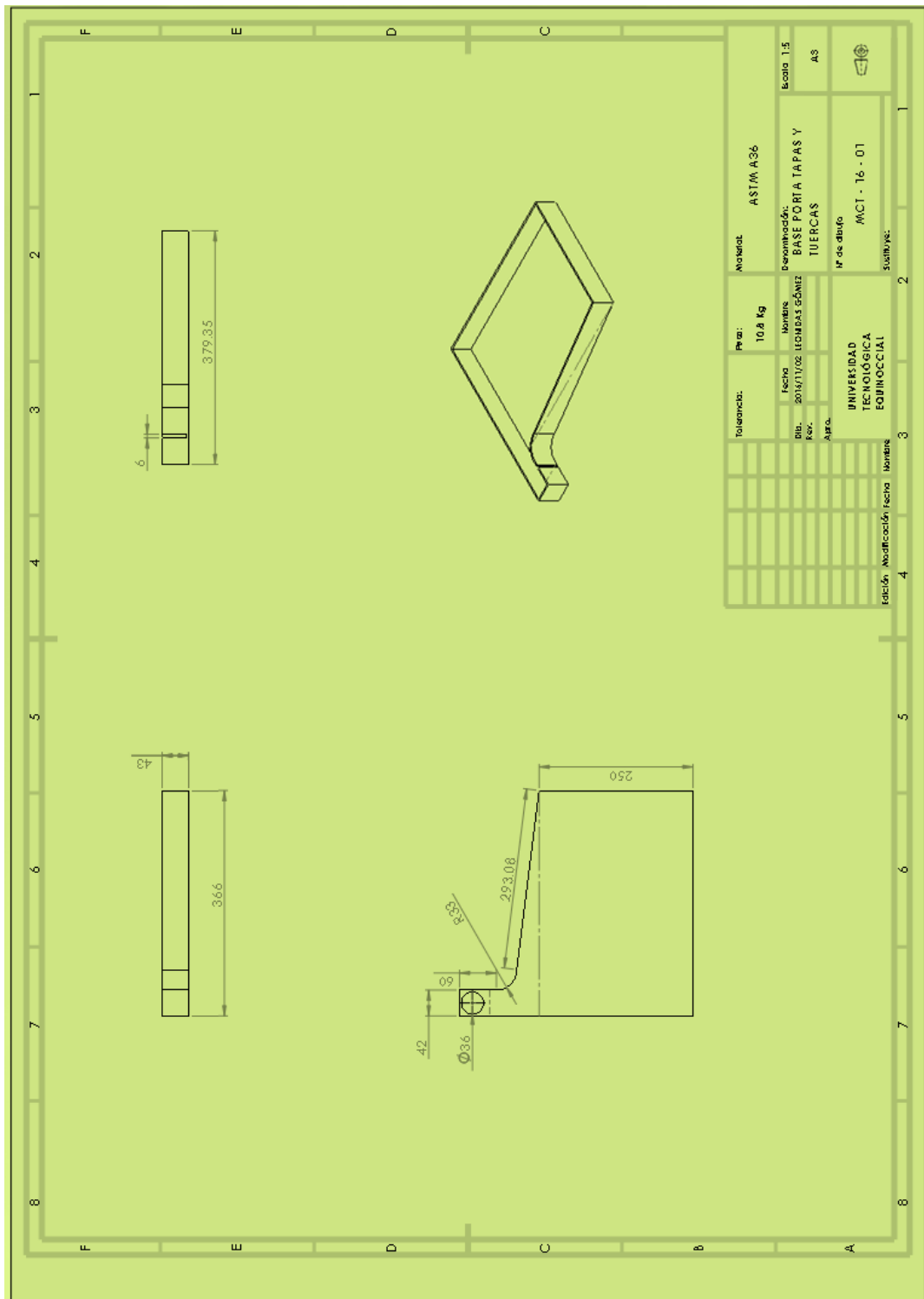
n.m---8000-rpm---keyed-shaft---with-brake---ip65/?range=2302-
lexium-32-%26-motors&node=166536635-servo-motors#download

- Siemens. (2003). *Manual Logo*. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf
- Skarin, D. (2004). La soldadura, de "magia negra" a ciencia práctica. *ABB*, 41-44.
- Wago. (2014). *Element14*. Obtenido de <http://mexico.newark.com/wago/787-722/ac-dc-converter-120w-24v-5a/dp/76R4863>

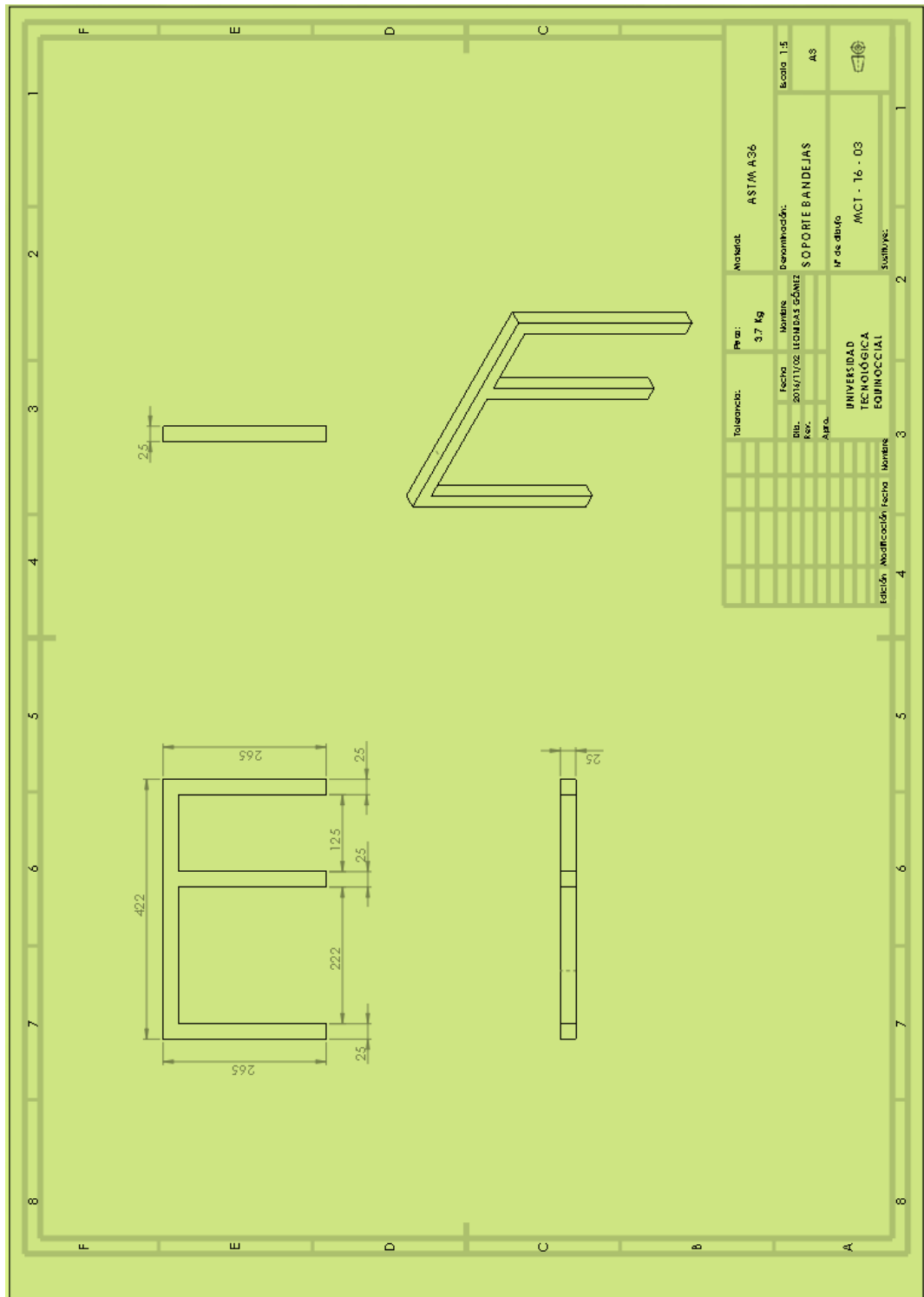
ANEXOS

ANEXO 1

Plano base porta tapas y tuercas

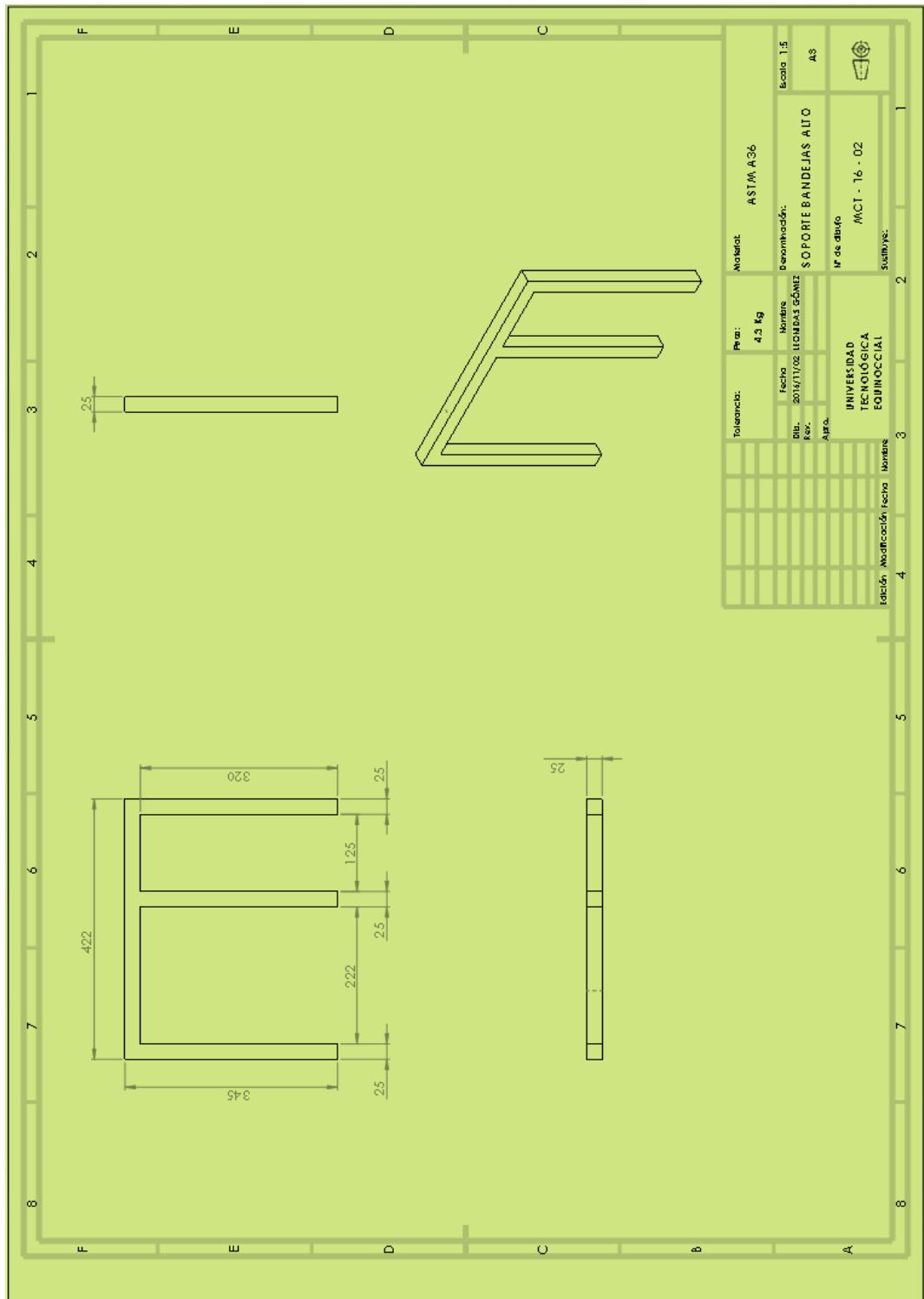


ANEXO 2 Plano soporte bandejas.



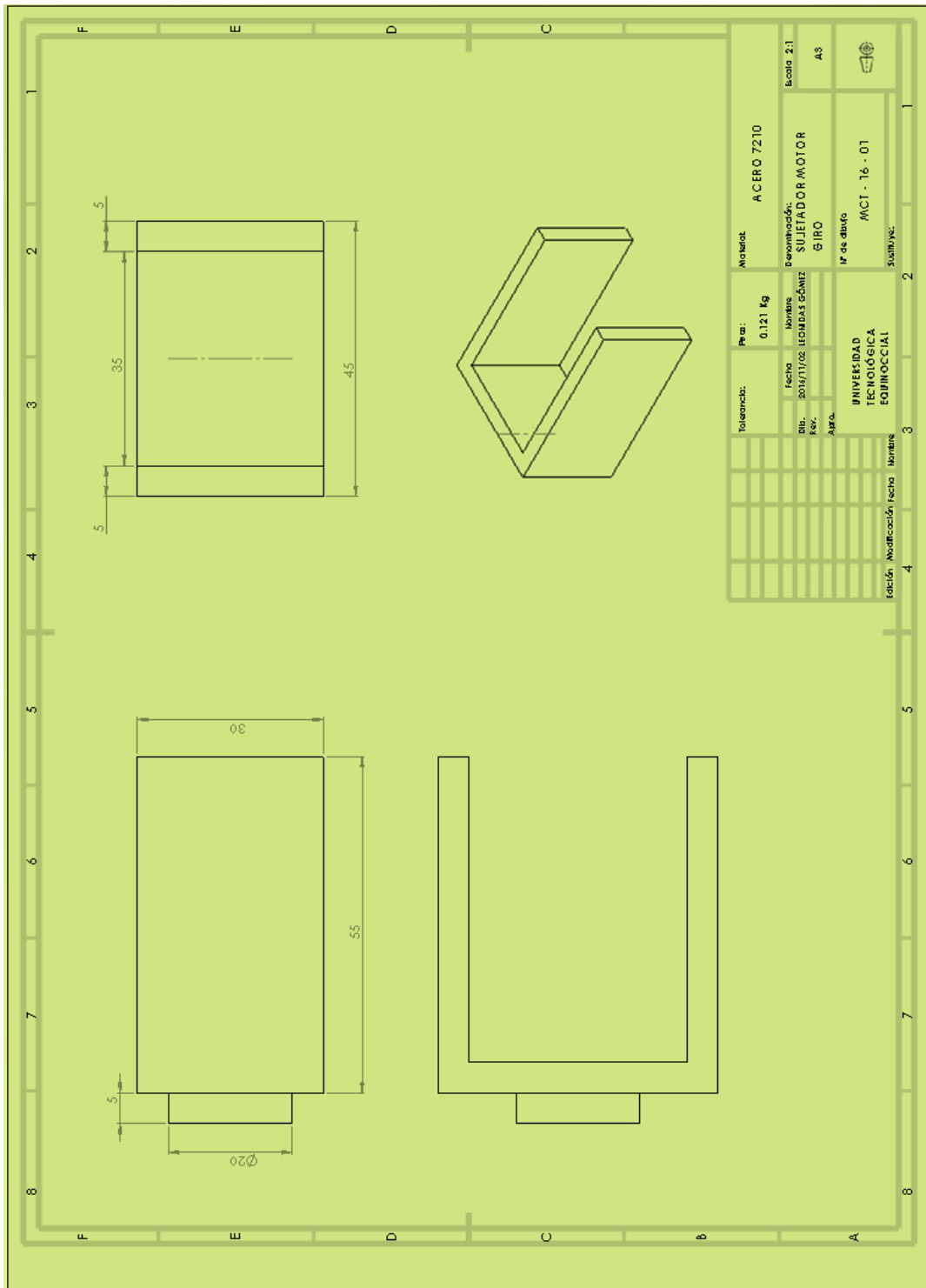
ANEXO 3

Plano soporte de bandejas alto.



ANEXO 4

Plano sujetador motor de giro.



ANEXO 5

Plano sujetador de pistón.

