

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

Restauración y Automatización de Torno
Paralelo para Proceso de Relleno de Soldadura
con MIG

Autor:

- Ezequiel Horacio Díaz Molina

Director:

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico*

en la

Facultad Regional Paraná

Noviembre de 2019

Declaración de autoría:

Yo declaro que el Proyecto Final “Restauración y Automatización de Torno Paralelo para Proceso de Relleno de Soldadura con MIG” y el trabajo realizado es propio.

Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firma:

- Ezequiel H. Díaz Molina

Fecha: Noviembre de 2019

Agradecimientos:

Primero y principal quiero agradecer a mis padres por brindarme la posibilidad de estudiar una carrera universitaria, con todo el costo económico y sacrificio que eso conlleva, apoyarme en todo momento de forma incondicional e inculcarme los valores que me llevaron a ser quien soy hoy en día. Por todo eso y más, eternamente agradecido.

A mis hermanos, amigos y familia en general de los cuales siempre recibí buenas vibras y energía positiva.

A la UTN Regional Paraná por abrirme sus puertas y formarme como profesional.

A la Industria Metalúrgica Dino Bartoli de María Grande, por confiarme sus materiales y sustento económico para desarrollar este proyecto, ya que por mis propios medios hubiera sido imposible.

A todos muchas gracias por estar ahí siempre.

Ezequiel H. Díaz Molina

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Restauración y Automatización de Torno Paralelo para Proceso de Relleno de Soldadura con MIG

Ezequiel H. Díaz Molina

Abstract:

In order to facilitate tasks for an operator and at the same time reduce workforce and material expenses in a metallurgical company, a project idea has arisen to restore an unused parallel lathe and apply modern technology to get an automated machine that performs welding fillers, working alongside a MIG type welding machine.

To achieve this approach, once the lathe spindle is restored, new technologies were incorporated such as a frequency converted, a three-phase 2HP motor, an speed reducer, stepper motors and and Arduino Mega programmed as core. It was also necessary to include sensors, relay modules, ends of career, a switched power supply, three phase switch and a thermal wrench. Regarding the welding machine, a light sensor was added and a pressure switch in order to get its operating parameters in real time. The interaction was achieved using a Rasperry PI 3B+, a touch screen and intuitive user interface programmed in QT Creator connected to the Arduino.

What was obtained was a renewed machine able of working with another machine alien to her through a small user intervention. The results were more than satisfactory because it

was possible to considerably reduce the manufacturing times of the parts, which translates into profits for the company with a fast amortization of the costs that the project took.

Keywords:

- Human machine interface.
- Welding machine.
- Motors.
- Programming.
- Sensors.

Resumen:

Con el objetivo de eliminar una tarea tediosa para un operario y al mismo tiempo reducir los costos en materiales y mano de obra a una empresa metalúrgica, surgió la idea de restaurar un torno paralelo en desuso y agregarle tecnología moderna para lograr obtener una máquina automatizada que realice rellenos de soldadura, trabajando en conjunto con una máquina de soldar tipo MIG.

Para llevar a cabo todo esto, una vez reciclado el husillo del torno, se le incorporaron otras tecnologías, como ser un variador de frecuencias, un motor trifásico de 2 HP, un reductor de velocidad, motores paso a paso y un Arduino Mega programado para ser el cerebro general. Además fue necesario incluir sensores, módulos de relés, finales de carrera, una fuente switching, un interruptor trifásico y una llave térmica. Con respecto a la máquina de soldar, se le agregó un sensor de luz y un presostato a modo de conocer sus parámetros de funcionamiento en todo momento. La forma de interactuar con el usuario se hizo a través de una Raspberry Pi 3B+ con su pantalla táctil y una interfaz gráfica intuitiva programada en Qt Creator y conectada vía serial al Arduino.

Lo que se obtuvo fue una máquina renovada, capaz de trabajar en forma conjunta con otra ajena a ella, mediante una pequeña intervención del usuario. Los resultados fueron más que satisfactorios, debido a que se logró reducir considerablemente el tiempo de fabricación de las piezas, lo que se traduce en ganancias para la empresa con una rápida amortización de los costos que llevó el proyecto.

Palabras Clave:

- Interfaz hombre máquina.
- Máquina de soldar.
- Motores.
- Programación.
- Sensores.

Reconocimientos:

A mi hermano mayor, el Ing. Sergio G. Díaz Molina por recomendarme a la Industria Metalúrgica Dino Bartoli para llevar a cabo el proyecto y ser mi guía en todo este tiempo junto con mi padre Julio H. Díaz Molina, quien de forma desinteresada me hizo lugar en su taller metalúrgico. Ambos me brindaron ayuda en los aspectos mecánicos de los cuales yo tenía pocos conocimientos y en reiteradas ocasiones incluso dejando de lado sus labores para poder ayudarme a mí. Sin dudas no lo hubiera podido lograr sin ellos dos.

Nuevamente reconocer a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná por brindarme la educación gratuita, a través del duro trabajo de cada docente a lo largo de estos años.

Y por último, pero no menos importante, a cada amigo y compañero de aula y de la vida que de una forma u otra me ayudaron a cumplir la tan ansiada meta de ser INGENIERO.

Índice:

Capítulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: Conceptos Previos	1
Torno Paralelo	1
Restauración Antes	2
Restauración Después	3
Dificultades de la restauración	10
Capítulo 3: Desarrollo	1
Comunicación	1
Raspberry Pi (RPI)	2
Especificaciones Técnicas del Modelo PI 3 B+	2
Pantalla Táctil	3
Interfaz Gráfica y Modo de Uso	4
Control Manual	5
Proceso Automático	9
Arduino MEGA 2560	12
Driver de Potencia	14
Motores Paso a Paso	19
Variador de frecuencia	21
Variador WEG CFW500	22
Motor Trifásico	25
Reductor de Velocidad	26
Soldadora MIG	28
Dificultades	32
Tablero Principal	33
Dificultades del Tablero	36
Disposición Final, Calibración y Funcionamiento	37
Dificultades de la Calibración Final	42
Capítulo 4: Resultados	1
Capítulo 5: Análisis de Costos	1
Capítulo 6: Discusión y Conclusión.	1
Capítulo 7: Literatura Citada.	2

Lista de Figuras:

Figura 1: Estado inicial del torno.....	1
Figura 2: Vista trasera del torno antes de la restauración.....	2
Figura 3: Vista frontal del torno antes de la restauración.....	2
Figura 4: Vista lateral del torno antes de la restauración.....	3
Figura 5: Vista lateral del torno después de la restauración.....	3
Figura 6: Vista frontal del torno después de la restauración.....	4
Figura 7: Cámara de compresión de extrusor de soja.....	5
Figura 8: Esquema de una Extrusora.....	5
Figura 9: Diseño de extrusor de soja IMDB EX1605.....	6
Figura 10: Extrusor IMDB EX1605 en planta.....	7
Figura 11: Despiece de extrusor de soja IMDB EX1605.....	8
Figura 12: Caño relleno.....	9
Figura 13: Pieza Mecanizada.....	9
Figura 14: Esquema general de comunicación.....	1
Figura 15: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 Modelo B+.....	2
Figura 16: Pantalla táctil HDMI de 7 pulgadas.....	4
Figura 17: Interfaz hombre máquina.....	5
Figura 18: HMI control manual.....	5
Figura 19: Interfaz: ejemplo de movimiento de mesa.....	6
Figura 20: Interfaz: movimiento de mesa pausado.....	6
Figura 21: Interfaz: ejemplo de movimiento de brazo.....	7
Figura 22: Interfaz: movimiento del brazo pausado.....	7
Figura 23: Interfaz: sentido de giro del husillo.....	8
Figura 24: Interfaz: husillo pausado.....	8
Figura 25: Interfaz: MIG soldando.....	9
Figura 26: Interfaz: MIG soldado pausado.....	9
Figura 27: HMI control automático.....	9
Figura 28: Interfaz: ventana proceso nuevo.....	10
Figura 29: Interfaz: ventana continuar proceso.....	10
Figura 30: Interfaz: indicador de inicio del proceso.....	11
Figura 31: Interfaz: indicador de proceso detenido.....	11
Figura 32: Arduino MEGA 2560.....	12
Figura 33: Especificaciones técnicas Arduino MEGA 2560.....	13
Figura 34: Cable Arduino-Raspberry.....	14
Figura 35: Driver Toshiba TB6600.....	15
Figura 36: Sector de potencia del driver.....	15
Figura 37: Fuente conmutada 12[V], 10[A].....	16
Figura 38: Sector de control del driver.....	16
Figura 39: Conexión ánodo común del driver al Arduino.....	17
Figura 40: Switch de configuración del driver.....	17
Figura 41: Tabla de micropasos del driver.....	17
Figura 42: Tabla de corriente del driver.....	18
Figura 43: Diagrama completo de conexión del Driver TB6600.....	18
Figura 44: Tipos de motores PaP.....	19
Figura 45: Color de cables de motores PaP bipolares.....	20
Figura 46: Motor PaP NEMA 34.....	20
Figura 47: Motor PaP NEMA 23.....	21
Figura 48: Variador de frecuencia Weg CFW500.....	22
Figura 49: Panel frontal variador Weg CFW500.....	23
Figura 50: Plug in variador Weg CFW500.....	23

Figura 51: Módulo de dos relés de 5[V] Arduino.....	24
Figura 52: Parte lógica del módulo de relés.....	24
Figura 53: Sistema trifásico de corriente alterna.....	25
Figura 54: Chapa del motor trifásico.....	26
Figura 55: Reductor de velocidad.....	27
Figura 56: Transmisión final del husillo.....	27
Figura 57: Soldadora MIG utilizada.....	29
Figura 58: Presostato para la MIG.....	30
Figura 59: Sensor de luz.....	30
Figura 60: Masa rotativa para la MIG.....	31
Figura 61: Tobera dañada.....	33
Figura 62: Disposición de componentes en el tablero.....	34
Figura 63: Cableado del tablero principal.....	34
Figura 64: Vista interna del tablero finalizado.....	35
Figura 65: Vista externa del tablero finalizado.....	36
Figura 66: Prueba de espesor del cordón de soldadura.....	37
Figura 67: Cono separador.....	38
Figura 68: Ubicación final de la torcha.....	39
Figura 69: Interruptor Pull Up.....	40
Figura 70: Sensor inductivo detectando.....	41
Figura 71: Sensor inductivo apagado.....	41
Figura 72: Proyecto antes. Vista 1.....	1
Figura 73: Proyecto finalizado. Vista 1.....	2
Figura 74: Proyecto antes. Vista 2.....	3
Figura 75: Proyecto finalizado. Vista 2.....	3
Figura 76: Cámara de compresión rellanada. Vista 1.....	4
Figura 77: Cámara de compresión rellanada. Vista 2.....	5
Figura 78: Cámara de compresión rellanada. Vista 3.....	5
Figura 79: Cámara de compresión rellanada y rectificada.....	6

Lista de Tablas

Tabla 1: Tabla de costos.....1

Lista de Abreviaciones

- mm: milímetros.
- RPI: Raspberry Pi.
- HMI: Interfaz Hombre-Máquina.
- HP: Horse Power.
- DC: Corriente Continua.
- AC: Corriente Alterna.
- PaP: Paso a Paso.
- s: Segundos.
- NA: Normal Abierto.
- NC: Normal Cerrado.
- V: Volts.
- Hz: Hertz.
- A: Amper.

Lista de Símbolos

- HIGH: Estado lógico alto.
- LOW: Estado lógico bajo.
- GND: Masa.
- Vcc: Alimentación.
- Dx: Pin digital número "x".
- Dlx: Entrada digital número "x".
- Ω : Ohm.

Dedicado a:

Especialmente mi padre **Julio H. Díaz Molina** y mi madre **Nilda A. Vega** que han sido los pilares fundamentales durante toda mi vida y han dejado de lado sus necesidades más de una vez para que no me falte nada nunca. A mis hermanos **Sergio, Natalia** y **Stefanía**. A mi cuñada **Nadia** junto a mi sobrino/ahijado **Lautaro** que cierran el círculo familiar. Luego a cada uno de mis otros seres queridos que depositaron su fe en mí y estuvieron a mi lado en las buenas y aún más en las malas.

Capítulo 1: Introducción

Todas las personas tenemos la tendencia a querer realizar ciertas tareas en el menor tiempo posible, y a la vez con la exigencia de que quede bien hecha. Y más aún si se trata de algo repetitivo y tedioso para el que lo hace. Por supuesto que ser productivo y en poco tiempo no siempre va de la mano.

Los continuos avances de la tecnología nos permiten hoy en día lograr cosas que años atrás parecían imposibles o directamente eran impensadas. Logrando que la idea de incrementar la producción y reducir costos, no sea tan descabellada.

Aquí es cuando entra en juego la famosa palabra “automatización”, tan escuchada y utilizada por las empresas, que básicamente su objetivo principal es reemplazar un tarea manual por otro autónoma, es decir, con intervención casi nula del ser humano. De esta manera, la máquina se encarga de realizar siempre una misma tarea y el operario se lo puede destinar a otros trabajos multifunción o simplemente que se encargue de monitorear que la máquina esté funcionando correctamente.

Actualmente también está vigente la necesidad y el deseo de reciclar cosas para darle otros usos y reducir los desperdicios que contaminan el planeta.

Con hincapié en estos conceptos es que surge la idea restaurarle un torno paralelo a una empresa metalúrgica que lo tenía abandonado hacía más de 30 años en la intemperie, agregarle nueva tecnología y que trabaje de forma automática en conjunto con una máquina de soldar del tipo MIG para hacer rellenos de soldadura.

El deseo por parte de la empresa estaba bien claro, reducir costos y tiempos de producción y a la vez desligar a un operario de una tarea monótona. Esta última consiste en la fabricación de cámaras de compresión utilizadas en los extrusores de soja fabricados por ellos. Las cámaras son tubos con diámetro y longitud fija que cuentan con un “cordón” de soldadura en cada uno de sus extremos exteriores.

Como era de esperarse, el torno en cuestión era una “bola de óxido”, pero esto no fue motivo para darse por vencido desde el principio, sino todo lo contrario, fue tomado como un gran desafío y muestra de que con dedicación se pueden lograr las metas propuestas, por más adversas que parezcan al principio.

El enfoque principal del proyecto es a partir de una restauración y utilizando ciertos materiales reciclados y otros de ellos nuevos, desarrollar una máquina fácil de usar así puede ser controlada por cualquier operario a través de una interfaz gráfica intuitiva y programada para que no haya necesidad de requerir de grandes conocimientos previos.

El hecho de que una máquina tan compleja sea fácil de usar implica un gran compromiso al momento de programar todo el sistema, debido a que se necesita buena robustez, entendiendo por robusto un equipo que sepa responder y sobrellevar las anomalías que puedan llegar a surgir durante la marcha.

Para cumplir con estos requisitos, se plantea la necesidad de dotar al equipo con determinados sensores que monitoreen continuamente su funcionamiento, para saber si todo se encuentra dentro de los parámetros normales y en caso contrario, realizar las acciones correspondientes.

Otro punto muy importante en el proyecto es la interfaz entre el hombre y la máquina. Por lo tanto, se lleva a cabo una etapa de diseño y programación para que ésta sea lo más sencilla y funcional posible. Luego hay una etapa de control comandada por el microcontrolador que cuenta con diversas entradas y salidas digitales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y evitar que tanto la integridad del operario como la pieza que se está realizando sean dañadas y, finalmente se implementa una etapa de potencia correspondiente a la alimentación de los motores involucrados.

Todo esto dicho anteriormente es la principal justificación del proyecto, debido a que se considera un trabajo completo que abarca aspectos mecánicos y electrónicos, en los que se cuenta con diseño, lógica, control y potencia.

En cuanto al análisis de mercados, se podría decir que no hay algo similar, debido a que es una máquina fabricada a partir de una restauración, para llevar a cabo una tarea muy específica, siendo su uso exclusivo para ella. Por supuesto que a la empresa le sirve contar con esta mejora, de lo contrario no hubieran planteado la inquietud de hacerla. Pero más allá de eso, no es un proyecto que pueda ser incluido en el mercado como competencia de otro existente.

Respecto al ciclo de vida, se estima que es de muchos años, gracias al tipo de tecnología instalada y a que las cámaras de compresión que va a fabricar la máquina son un elemento crucial e irremplazable de los extrusores de soja. No habiendo otra pieza que las reemplace, seguirán siendo necesarias durante mucho tiempo. Por lo tanto, la empresa se puede quedar tranquila de que hizo una buena inversión, amortizable en poco tiempo y que con un mínimo mantenimiento tendrá una larga vida útil.

Al ver que el proyecto funcionó como lo esperado, la empresa planteó el deseo de que la máquina realice otras tareas, una de ellas es el relleno interno de la cámara de compresión y la otra es un relleno externo similar al de la cámara grande pero esta vez en un tubo de menores dimensiones. Por lo tanto, ambas opciones fueron incluidas en el desarrollo de la interfaz gráfica por cuestiones de estética de diseño, pero son consideradas **mejoras a futuro** de este proyecto, es decir, que los resultados de su programación y desarrollo no serán expuestos en este informe.

Capítulo 2: Conceptos Previos

Comenzaré comentando lo que es un torno paralelo propiamente dicho y el estado inicial con que se recibió antes de la restauración.

Torno Paralelo

El torno paralelo es una máquina herramienta que permite mecanizar, roscar, cortar, trapeciar, agujerear, cilindrar, desbastar y ranurar piezas de forma geométrica por revolución. Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar sujeta en el cabezal mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas.

En este caso, el torno se encontraba tirado a la intemperie por más de 30 años (ver figura 1). Fue restaurado mecánicamente para luego recibir toda la instalación electrónica necesaria para la automatización.

A los fines prácticos, lo único que se precisaba recuperar de la parte mecánica es el giro del husillo, por lo tanto fueron descartadas la mayoría de las partes de la máquina dejando sólo el conjunto de engranajes y rodamientos internos para tal utilidad. Una vez logrado esto, se lo pintó para darle un mejor aspecto estético.

En cuanto al carro original, se lo desmanteló y cortó para alivianar su peso, puesto que el movimiento paralelo a la bancada no será con la cremallera, sino reemplazado por una mesa de bolas recirculantes controlada por un motor paso a paso.

En las siguientes fotos se puede observar a grandes rasgos en lo que consistió la restauración del torno, para dejarlo listo para poder comenzar a instalarle los componentes electrónicos y la programación de los mismos y así lograr finalmente el objetivo propuesto del proyecto.



Figura 1: Estado inicial del torno.

Restauración Antes



Figura 2: Vista trasera del torno antes de la restauración.



Figura 3: Vista frontal del torno antes de la restauración.



Figura 4: Vista lateral del torno antes de la restauración.

Restauración Después



Figura 5: Vista lateral del torno después de la restauración.



Figura 6: Vista frontal del torno después de la restauración.

Las imágenes muestran cómo después de la restauración el torno quedó más “desnudo”. Esto se dio así, debido a que eran partes que no se iban a ser de utilidad a futuro y por lo tanto, se decidió quitarlas para que no molesten y a su vez darle un mejor aspecto final a la máquina. Un claro ejemplo es toda la parte de atrás del husillo (ver figura 2), y la parte superior de la transmisión, que fue reemplazada por una placa plana donde luego se colocó el motor trifásico nuevo con el reductor de velocidad.

Si se compara la figura 4 con la 6, también es notoria la diferencia en cómo estaba el carro antes y cómo lo está ahora. Para eso se lo cortó a la mitad y se eliminó todo el sistema de transmisión del volante. Reemplazado arriba con la mesa lineal, la cual lleva encima otra mesa en perpendicular para así en conjunto poder mover la torcha de la máquina de soldar hacia adelante o hacia atrás, y hacia arriba o hacia abajo.

Un modelo de la pieza en cuestión a fabricar es la que se puede ver en la figura 7.



Figura 7: Cámara de compresión de extrusor de soja.

La extrusión de alimentos es un proceso en el que un material (grano, harina o subproducto) es forzado a fluir, bajo una o más de una variedad de condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de una placa/boquilla diseñada para dar forma o expandir los ingredientes.



Figura 8: Esquema de una Extrusora.

Al extrusar el grano de soja, se obtiene lo que se conoce comúnmente como “expeller de soja”. Luego de esto, la soja se introduce en prensas de tornillo continuas para separar el aceite crudo del expeller, esto es lo que se conoce como el prensado de soja.

Las aplicaciones de la extrusión pueden reducirse a: alimentación humana, alimentación animal, usos industriales u otra alternativa, el biodiesel.

A continuación se muestra un diseño correspondiente a los extrusores de soja fabricados en la Industria Metalúrgica Dino Bartoli.

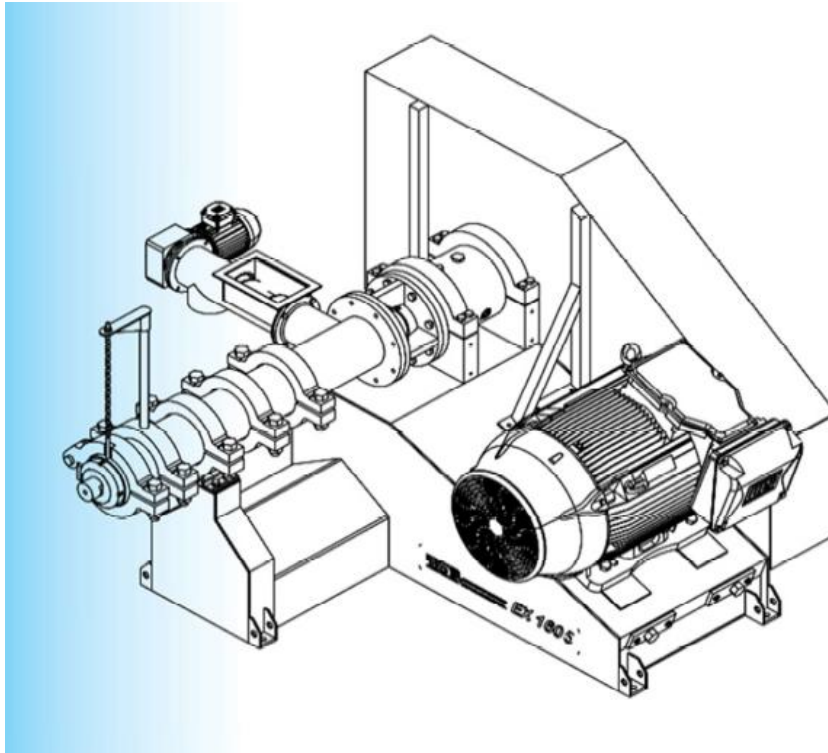


Figura 9: Diseño de extrusor de soja IMDB EX1605.

La implementación de esta máquina se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 10: Extrusor IMDB EX1605 en planta.

En una imagen del despiece de la misma, podemos ver la cámara de compresión que se desea fabricar.

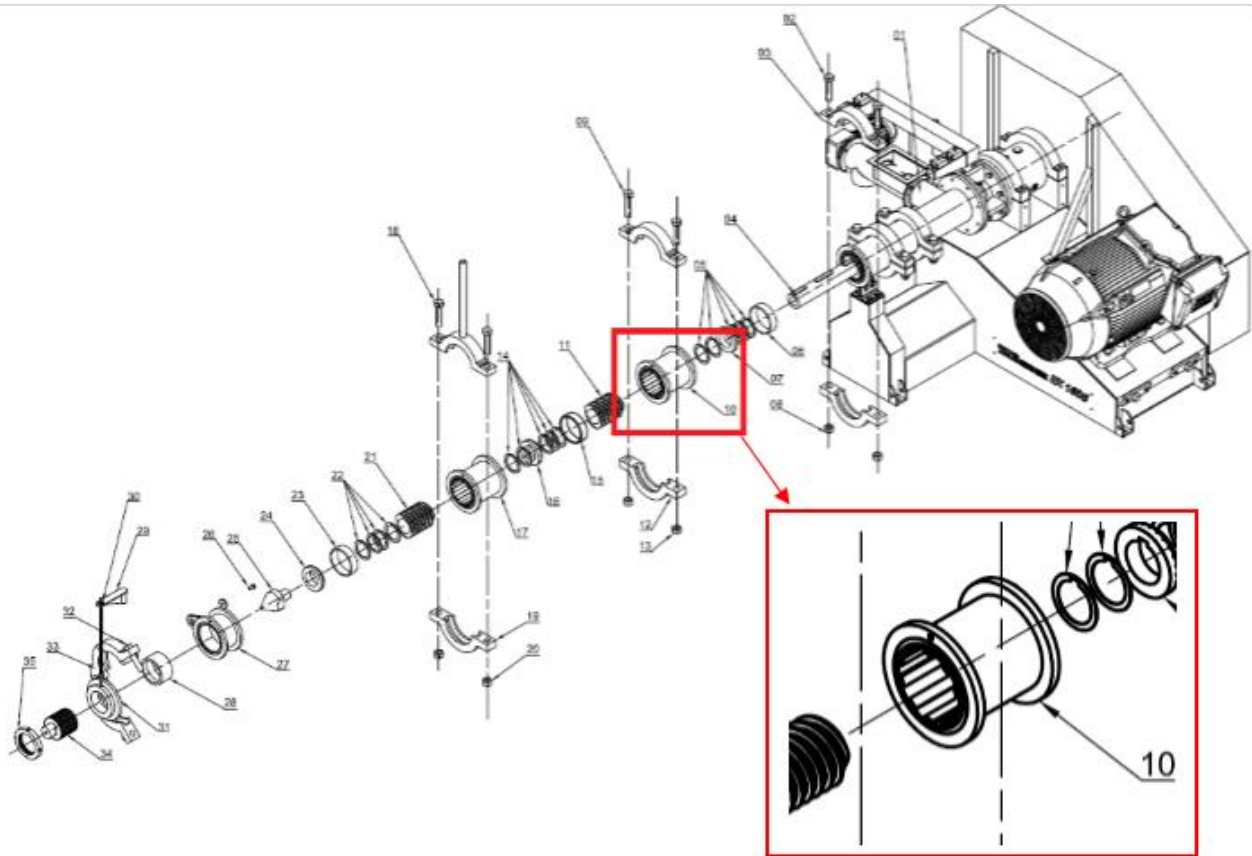


Figura 11: Despiece de extrusor de soja IMDB EX1605.

Tanto en el extremo superior como en el inferior, se observa un “anillo” de soldadura, el cual hoy en día es hecho a mano. Se utilizan rellenos de soldadura, ya que si se hicieran los anillos con placas metálicas soldadas, sería mucho el desperdicio de material porque se tendría que desechar todo el interior del anillo, encareciendo muchísimo el valor de la pieza.

Por lo tanto, el proceso consiste en realizar el relleno y luego rectificar la pieza de modo que quede así de uniforme y con bordes lisos, usando de guía el plano de la figura N° 12 y la 13. Esta es la meta a cumplir con el proyecto, que va a contar con varios motores, máquinas y sensores trabajando en conjunto para poder llevarla a cabo.

Para que quede en claro, con el proyecto se busca lograr el cordón de soldadura, lo que corresponde a la parte de mecanizado y acabado de la pieza, es una tarea que se desarrolla en otra máquina.

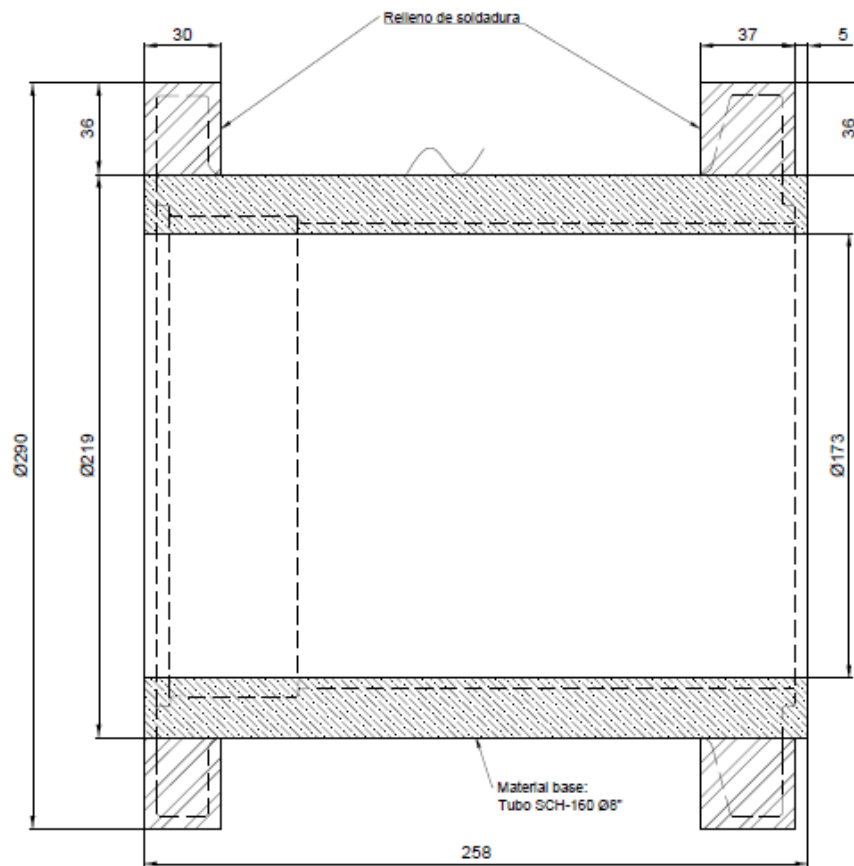


Figura 12: Caño relleno.

PIEZA MECANIZADA

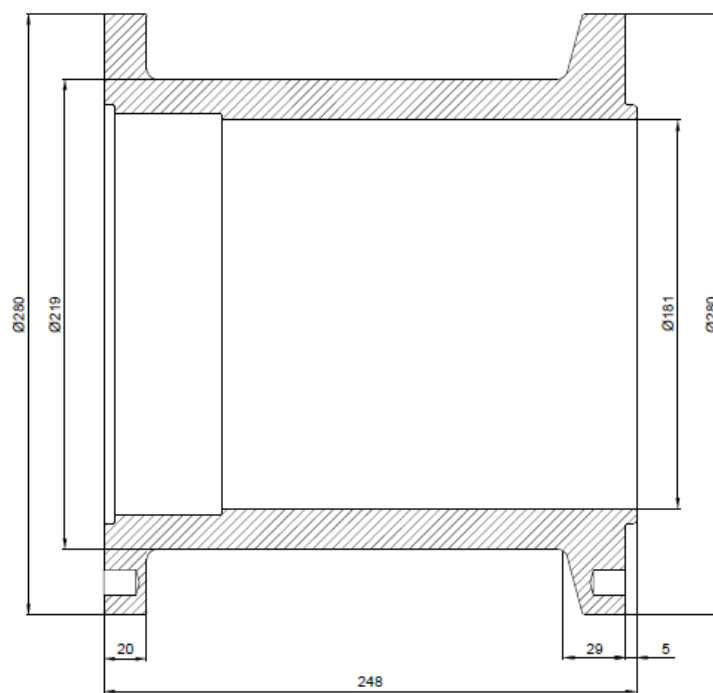


Figura 13: Pieza Mecanizada.

Dificultades de la restauración

Como era de esperarse, la mayor dificultad en esta etapa consistió en combatir todo el óxido que contenía la máquina al momento de desmantelarla. Para esto se utilizó mucho líquido que ayude al momento de aflojar los tonillos de las distintas piezas que se tenían que sacar, debido a que no iban a ser necesarias luego de la restauración.

Por lo tanto, se puede afirmar que hubo mucho desgaste físico y manejo de partes pesadas, para lo cual en algunos casos fue necesario el uso de una pluma con aparejo.

Capítulo 3: Desarrollo

Luego de finalizada la introducción teórica y dejado en claro el punto de partida y las metas a cumplir, se va a pasar a comentar lo importante del proyecto, que es la tecnología utilizada y cómo se desarrolló todo.

Comunicación

Hace referencia a la interacción en conjunto de cada una de las etapas, tanto de control como de potencia y sus respectivos dispositivos. El siguiente esquema nos muestra un panorama general. Luego se irá detallando cada una de las partes que lo componen.

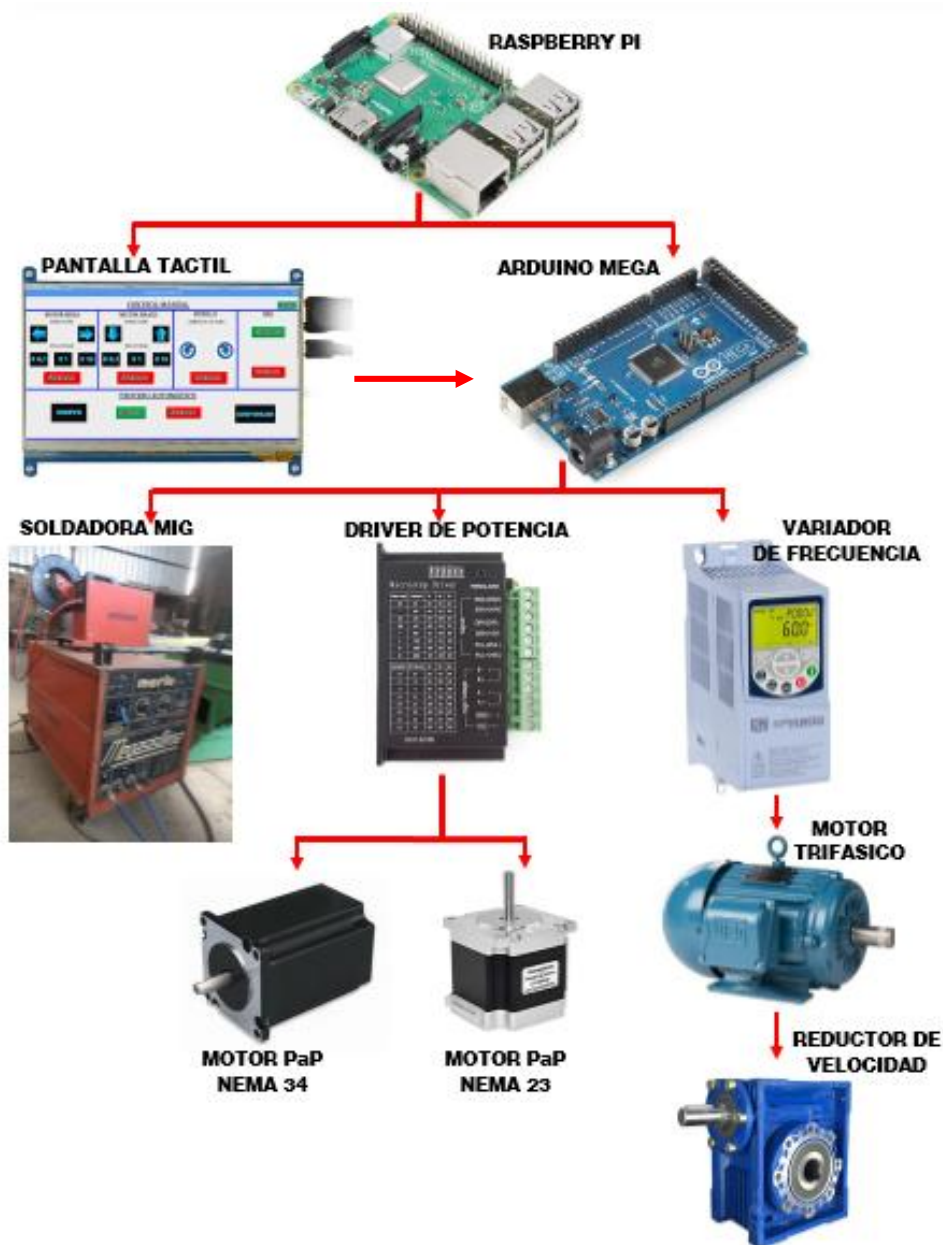


Figura 14: Esquema general de comunicación.

Raspberry Pi (RPI)

Es una placa computadora de bajo coste desarrollada en el Reino Unido por la Fundación Raspberry pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas.

El software es de código abierto, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian, aunque permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10. En todas sus versiones incluye un procesador Broadcom, una memoria RAM, una GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, por lo cual es necesario colocarle una tarjeta SD.

El sistema operativo se descarga desde la página oficial y tiene una extensión “.img”, que se graba en la tarjeta SD haciendo uso de un programa llamado Win32 Disk Imager, también libre. Al finalizar retiramos la tarjeta SD del ordenador desde el que hemos cargado el sistema y la conectamos a nuestro Raspberry Pi, después arrancamos nuestro dispositivo y esperamos a que termine de cargar. Cabe destacar que para poder ver todo el proceso y llevarlo a cabo con éxito, será necesario conectar la placa a un monitor o pantalla táctil vía HDMI, como así también un mouse y teclado a sus puertos USB.

Especificaciones Técnicas del Modelo PI 3 B+

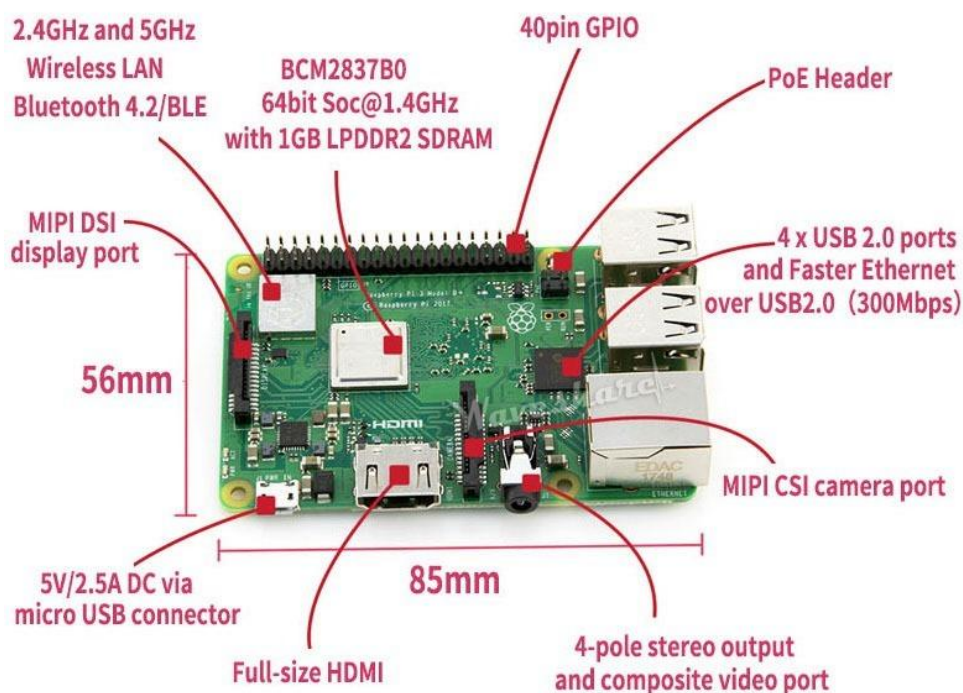


Figura 15: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 Modelo B+.

Este nuevo modelo de Raspberry Pi incorpora las siguientes características:

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI
- puertos USB 2.0
- Puerto CSI para conectar una cámara.
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE)

Se decidió usar la Raspberry PI 3 B+ a modo de PC, debido a que es más económica y ocupa un espacio físico mucho más reducido que una PC de escritorio o una notebook. A su vez, como no se requiere de una gran capacidad de procesamiento, la RPI es más que suficiente para satisfacer las necesidades requeridas del proyecto.

Pantalla Táctil

Es necesario contar con algún medio para poder visualizar todo el contenido de la Raspberry. Es por esto que se utiliza una pantalla táctil de 7 pulgadas, la cual basta con conectarla por HDMI y alimentarla por USB.

Para lograr tener una vista de escritorio en la pantalla, es necesario configurar la RPI, ya que esta viene por defecto para ser controlada por líneas de comandos. Una vez configurado el inicio, queda por defecto siempre para iniciar por escritorio, pudiendo cambiar a líneas de comandos nuevamente en cualquier momento. De todos modos, en el escritorio hay un acceso directo para poder ingresar los comandos libremente. A su vez, también se requirió modificar el archivo de configuración de booteo de la RPI, de modo de adaptar la resolución a la pantalla que se tiene, en este caso de 1024x600.



Figura 16: Pantalla táctil HDMI de 7 pulgadas.

La figura anterior muestra cómo vería el usuario la pantalla, una vez instalado el sistema operativo y configurado a la versión de escritorio.

Interfaz Gráfica y Modo de Uso

La forma de interactuar con el hombre a través de una interfaz hombre máquina (HMI). Para lograrlo, se descargó e instaló a la RPI el software libre Qt Creator, desde su plataforma oficial.

Qt Creator es un IDE multi plataforma programado en C++, JavaScript y QML creado para el desarrollo de aplicaciones con Interfaces Gráficas de Usuario (GUI por sus siglas en inglés) con las bibliotecas Qt. Permite diseñar rápidamente widgets y diálogos. Los forms son totalmente funcionales y pueden ser previsualizados inmediatamente para asegurarse de que se verá como se lo pensó.

De esta forma se pudo crear la siguiente interfaz, con botones y etiquetas acordes para que sea sencilla de utilizar y al mismo tiempo completamente funcional.

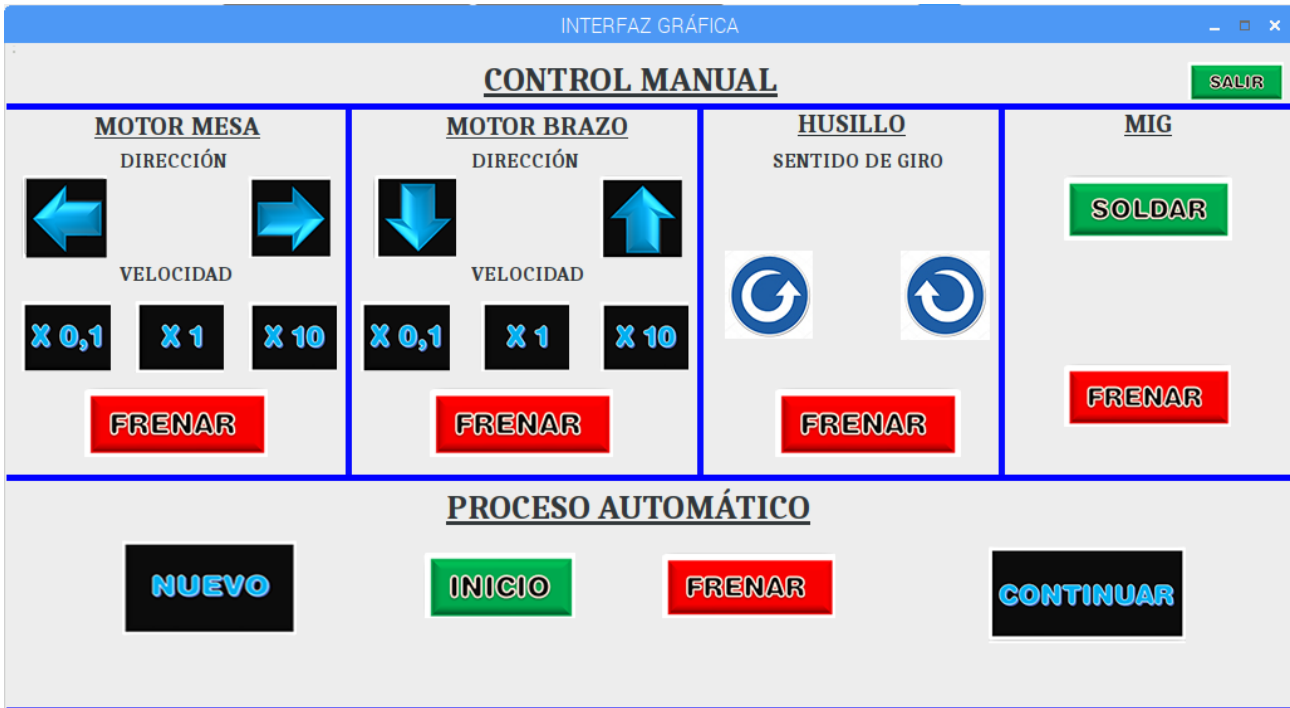


Figura 17: Interfaz hombre máquina.

Como se puede apreciar, cuenta con dos bloques fundamentales que se irán detallando junto con el funcionamiento de la máquina.

- Control Manual
- Control Automático

Control Manual



Figura 18: HMI control manual.

Esta sección, como bien indica su nombre, es para que el operario pueda controlar de forma manual cada motor y/o máquina por separado en caso de ser necesario, por ejemplo para alguna actividad de calibración o posicionamiento específico.

El motor de la mesa se mueve de forma paralela a la bancada del torno, por lo tanto, su movimiento será hacia la izquierda o hacia la derecha a la velocidad indicada por la elección de alguno de los tres botones de abajo (X0,1; X1; X10).

En el siguiente ejemplo, se seleccionó la velocidad X1 y el movimiento hacia la derecha, siendo indicado en las etiquetas.



Figura 19: Interfaz: ejemplo de movimiento de mesa.

Se puede pulsar el botón "FRENAR" en el momento que desee detener el movimiento, indicándose también en las etiquetas.



Figura 20: Interfaz: movimiento de mesa pausado.

El mismo criterio es aplicado para el motor del brazo, con la única diferencia que éste se mueve hacia arriba o hacia abajo. Por ejemplo eligiendo la velocidad más lenta.

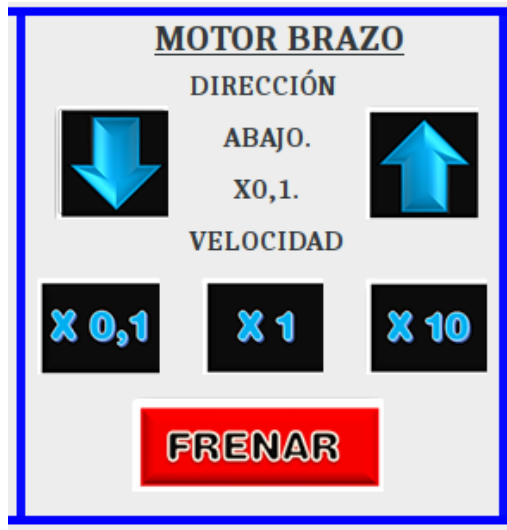


Figura 21: Interfaz: ejemplo de movimiento de brazo.

También puede ser pausado en cualquier momento.



Figura 22: Interfaz: movimiento del brazo pausado.

Con respecto al husillo del torno, se puede seleccionar el sentido de giro horario o antihorario, o bien frenar por completo la rotación.



Figura 23: Interfaz: sentido de giro del husillo.



Figura 24: Interfaz: husillo pausado.

Por último en esta sección se encuentra la posibilidad de controlar a gusto la soldadora MIG con dos simples botones, uno para iniciar el proceso de soldadura y otro para detenerlo.



Figura 25: Interfaz: MIG soldando.



Figura 26: Interfaz: MIG soldado pausado.

Proceso Automático



Figura 27: HMI control automático.

Este tipo de control es el que el usuario utilizará al momento de hacer el relleno propiamente dicho. Previamente ubicando la torcha en la posición inicial correspondiente, haciendo uso de los controles manuales.

Lo primero es seleccionar lo que desea hacer, si un proceso “NUEVO” o “CONTINUAR” otro ya comenzado. Sea cual sea la elección, se abrirá una segunda ventana que nos permite elegir el tipo de proceso.

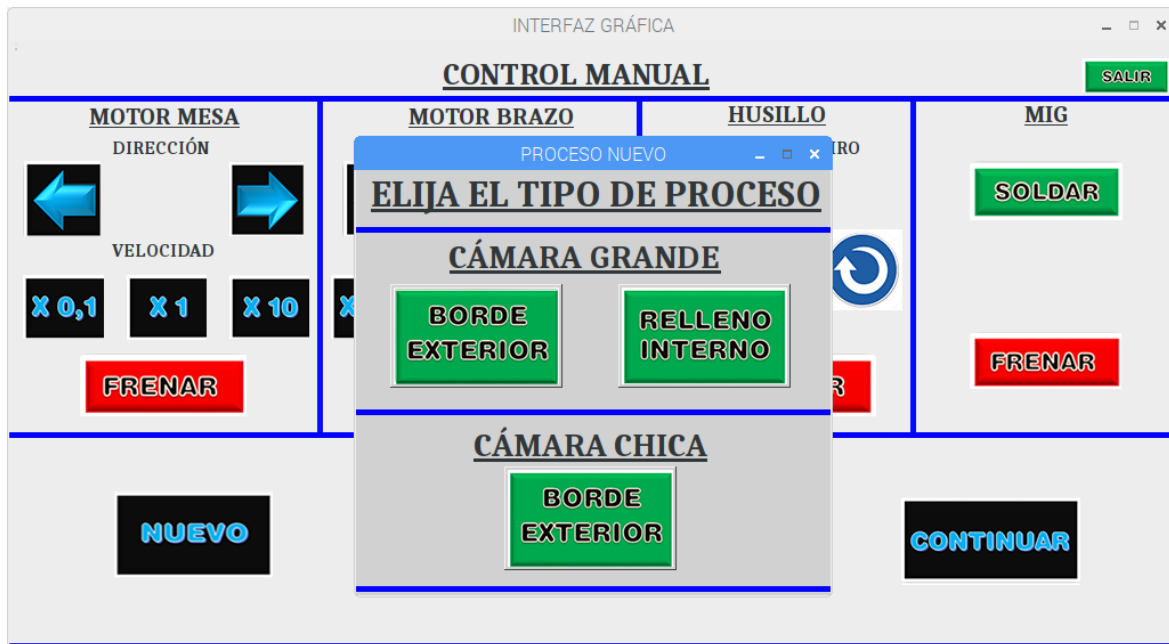


Figura 28: Interfaz: ventana proceso nuevo.

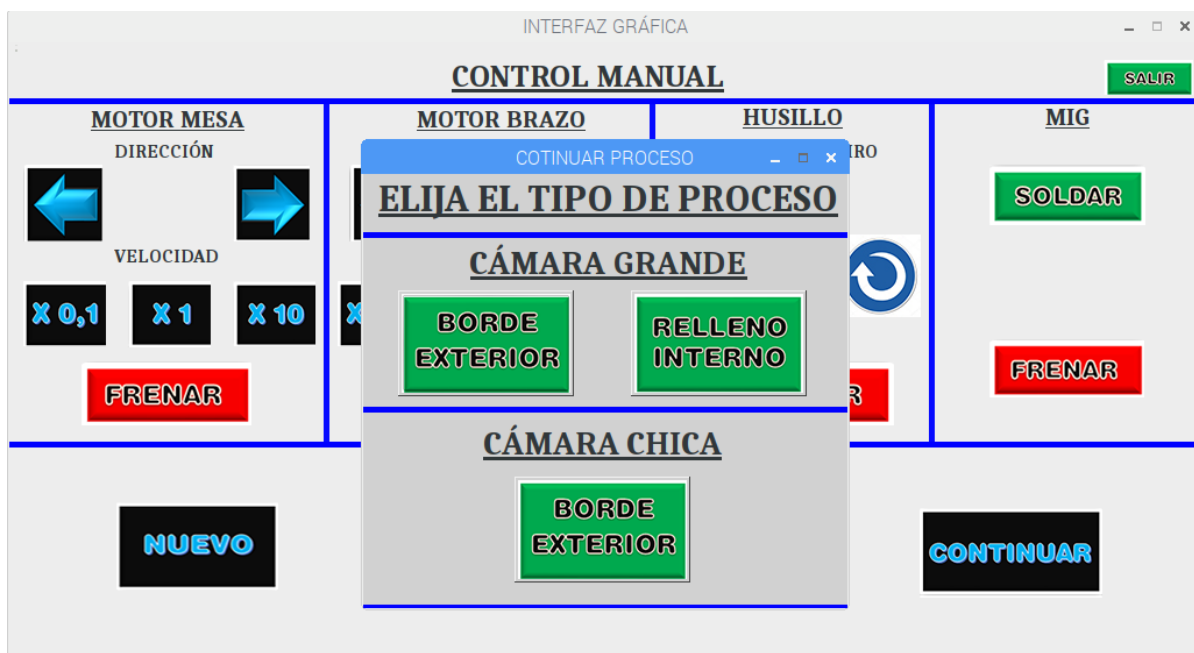


Figura 29: Interfaz: ventana continuar proceso.

Cabe destacar que el alcance del proyecto incluye realizar el proceso correspondiente al borde exterior de la cámara grande de compresión. Las otras dos opciones de relleno interno de la cámara grande y borde exterior de una cámara de menores dimensiones son consideradas mejoras a futuro que serán desarrolladas posteriormente, sólo que ya han sido incluidas en la interfaz para llegado el momento de su programación, no tener que modificar el diseño de la misma.

Volviendo a la explicación del procedimiento, acto siguiente a seleccionar el proceso, se pulsa el botón “INICIO”, se muestra una etiqueta indicativa y se da comienzo a los movimientos automáticos de los motores y el control de la máquina de soldar, pudiendo detener todo esto en cualquier momento con el botón “FRENAR”. Una vez marcado el inicio, no se podrá realizar ninguna otra elección manual por cuestiones de seguridad e integridad del producto. La única forma de habilitar nuevamente las otras opciones es frenando el proceso.



Figura 30: Interfaz: indicador de inicio del proceso.



Figura 31: Interfaz: indicador de proceso detenido.

La opción de continuar un proceso ya empezado con anterioridad puede deberse a por ejemplo: cortes de luz, fin de una jornada laboral, etc. Esta opción lo que permite es hacer el proyecto lo más robusto posible, lo que implica prepararlo para afrontar y sobrellevar cualquier eventualidad fuera de los casos ideales de funcionamiento.

Arduino MEGA 2560

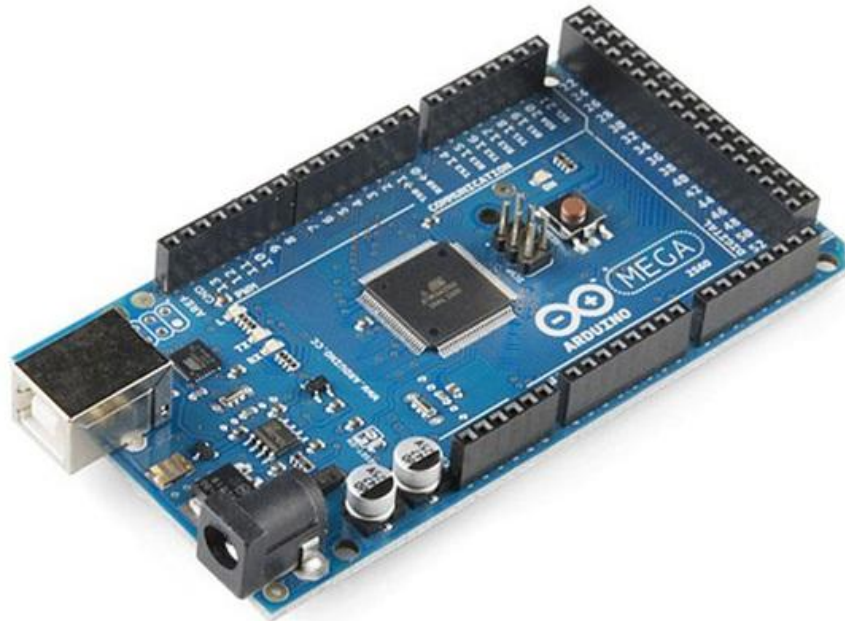


Figura 32: Arduino MEGA 2560.

El siguiente eslabón no es nada menos que el procesador encargado de llevar a cabo todas las tareas programadas.

Se eligió en este caso el Arduino MEGA 2560. Principalmente por su practicidad y sencillez a la hora de llevar a cabo la programación en su lenguaje propio, esto sumado a que sus aplicaciones son muchísimas y se adapta a la perfección al proyecto.

Particularmente el modelo fue elegido por la cantidad de pines que posee, los cuales son utilizados como entradas/salidas digitales o analógicas, permitiendo conectar gran variedad de sensores y/o actuadores.

Este es el cerebro del proyecto, como bien indica el esquema de la figura 14, controla los drivers de los motores paso a paso, la soldadora MIG y el variador de frecuencia del motor trifásico, tanto individualmente como en conjunto.

Arduino Mega posee las siguientes especificaciones técnicas:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5 [V]
- Voltaje de Entrada: 7-12 [V]
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20 [V]
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 [mA]

- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 [mA]
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8 [KB]
- EEPROM: 4 [KB]
- Clock Speed: 16 [MHz]

Posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación:

- VIN: A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- 5V: Podemos obtener un voltaje de 5 [V] y una corriente de 40 [mA] desde este pin.
- 3,3V: Podemos obtener un voltaje de 3.3 [V] y una corriente de 50 [mA] desde este pin.
- GND: la masa (0[V]) de la placa.

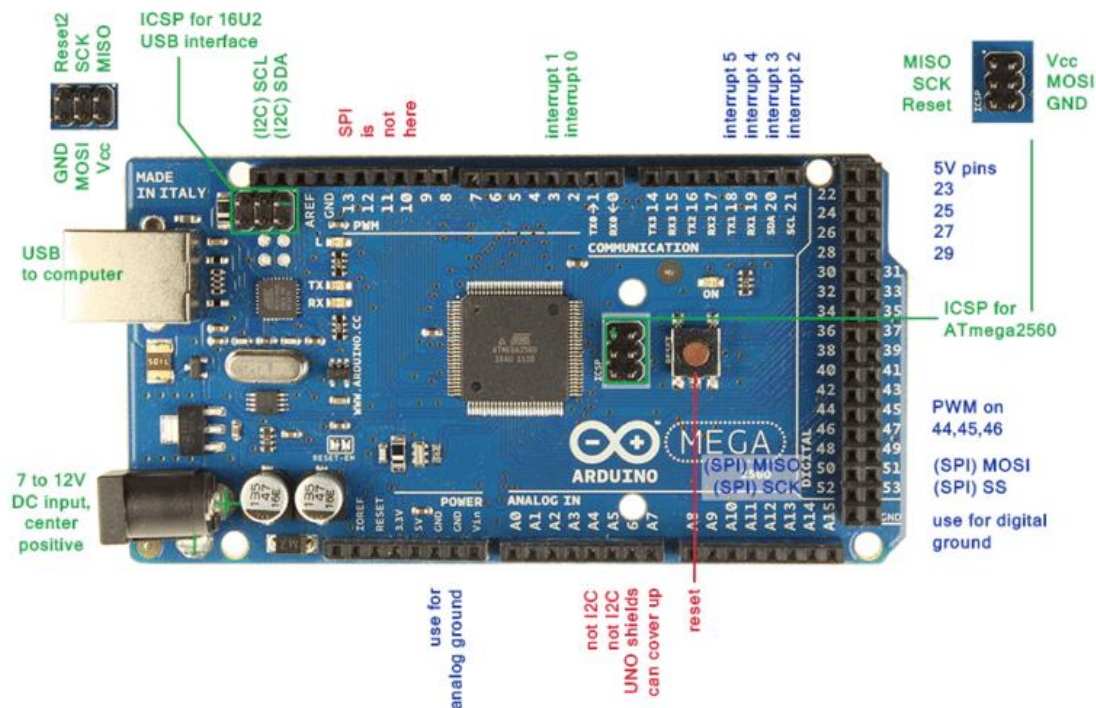


Figura 33: Especificaciones técnicas Arduino MEGA 2560.

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. La comunicación entre la RPI y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor USB-Serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la RPI utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.



Figura 34: Cable Arduino-Raspberry.

Una vez conectado el Arduino, lo que se hace es descargar el IDE para desarrollar el programa. Esto se logra fácilmente introduciendo unas líneas de comandos desde el escritorio de la RPI.

Básicamente su funcionamiento consiste en recibir un dato por puerto serie, correspondiente al botón pulsado en la interfaz gráfica. Es decir, a cada botón se le asignó un número y desde Qt se lo envía en forma de dato al Arduino a través del puerto serie, este lo recibe, convierte a entero y lo siguiente es entrar a un menú (Switch), correspondiente a ese número y realizar las acciones correspondientes.

Por ejemplo: el usuario pulsa el botón encargado de cambiar el sentido de giro del husillo, que tiene asignado el número 13. Desde Qt se codifica y envía al Arduino el número 13, se lee del puerto, luego se convierte a entero y por último se ingresa al case del Switch que tiene el número 13, donde se encuentran las acciones correspondientes para cumplir con lo requerido por el usuario.

Driver de Potencia

Como bien su nombre lo indica, es el encargado de brindar la potencia necesaria para que los motores paso a paso se muevan, debido a que la salida de corriente de los pines del Arduino es muy baja. Por lo tanto se crea una etapa de potencia intermedia entre el micro y el motor, donde lo que se hace es recibir las órdenes de control y brindar la potencia necesaria para que sean llevadas a cabo.

Para llevar a cabo esta tarea, se eligieron los drivers marca Toshiba, modelo TB6600, por ser los más comunes del mercado.



Figura 35: Driver Toshiba TB6600.

Se podría decir que está dividido en tres sectores bien diferenciados. En la esquina inferior derecha se encuentra la parte “High Voltage”.

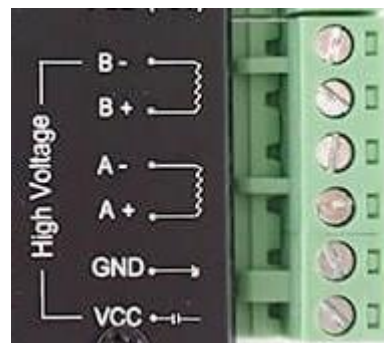


Figura 36: Sector de potencia del driver.

Donde dice “GND” y “VCC” corresponde a la alimentación del driver, que será una tensión de corriente continua entre 9 y 42 [V] (como indica la esquina inferior izquierda del driver), proveniente de una fuente conmutada como la que se muestra a continuación, capaz de entregar 12 [V] y 10 [A] de corriente.



Figura 37: Fuente conmutada 12[V], 10[A].

Volviendo al driver, lo que sigue son los contactos que figuran como B-, B+, A- y A+, donde irán conectados los cables de los motores de pasos. Vale aclarar que a cada motor le corresponde su único driver.

En la parte superior derecha se encuentran los terminales de control del driver.

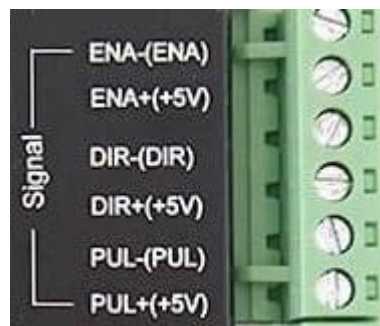


Figura 38: Sector de control del driver.

Aquí van las conexiones provenientes del Arduino. Tenemos “ENA” (Enable), para habilitar o deshabilitar el driver, “DIR” (Direction), para definir el sentido de giro del motor y “PUL” (Pulse), para recibir los pulsos (o pasos), que serán dados al motor.

Estas son señales binarias, es decir que cuentan con dos estados: alto o bajo. Dependiendo del estado en que se encuentren las señales, el driver ordenará al motor una cosa o la otra pero nunca ambas a la vez.

Como podemos ver, para cada señal existe un pin negativo y uno positivo. Esto nos permite realizar las conexiones como ánodo común, donde los estados lógicos son dados a los pines negativos, mientras que los positivos son conectados todos en puente a 5[V] del Arduino. O cátodo común, que es el caso contrario al anterior. Por el sólo hecho de

elegir una de las dos, se decidió conectar en ánodo común pero de haber elegido cátodo común no hubiera marcado una diferencia más que el distinto tipo de cableado.

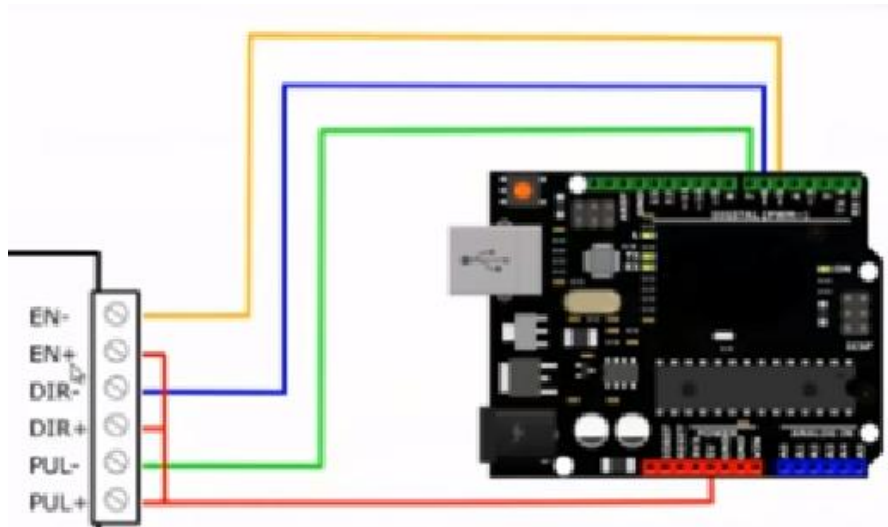


Figura 39: Conexión ánodo común del driver al Arduino.

Por último, el driver cuenta con seis interruptores en la parte superior.



Figura 40: Switch de configuración del driver.

Los primeros tres están destinados a la configuración de los micropasos, como muestra la siguiente tabla:

Microstep Driver				
Micro step	Pulse/rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Figura 41: Tabla de micropasos del driver.

Por ejemplo, si colocamos el S1 y S2 en ON, y el S3 en OFF, tendremos 200 pulsos por revolución, es decir, 200 pulsos llegados al pin “PUL” del driver significan una vuelta del eje del motor. Otro ejemplo, colocando S1 y S3 en OFF y dejando sólo S2 en ON necesitaremos 1600 pulsos para lograr dar una vuelta del eje. Este juego de micropasos nos permite lograr tener una mayor o menor precisión en los movimientos, cuantos más pulsos necesitemos para que el eje dé una vuelta, mayor será la precisión al momento de posicionarlo en algún punto específico.

Los switches S4, S5 y S6 corresponden al rango de corriente que entrega el driver, acorde a la corriente de funcionamiento cada motor.

Current(A)	PK Current	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1.0	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2.0	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	ON
3.0	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF

Figura 42: Tabla de corriente del driver.

En este caso, al ser los dos motores de 4[A]; S4, S5 y S6 quedaron configurados en OFF los tres.

El diagrama completo de conexión de cada driver quedó de la siguiente manera:

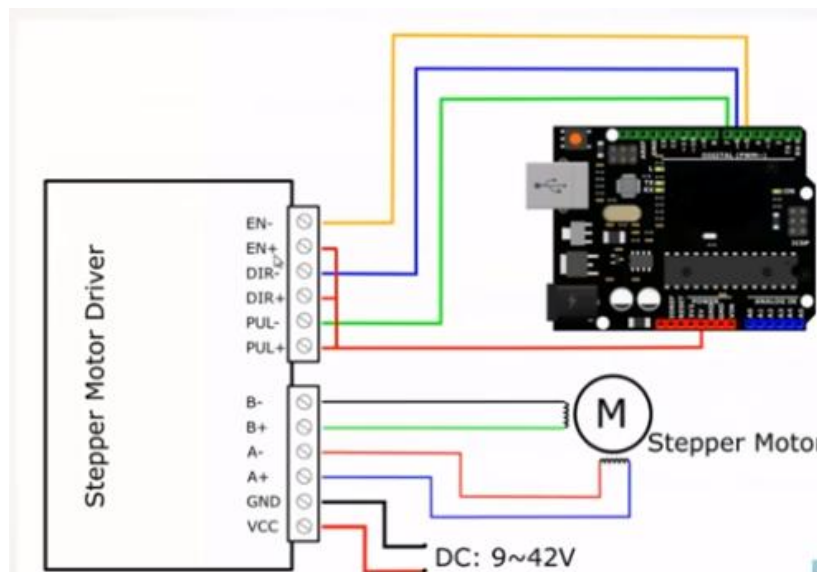


Figura 43: Diagrama completo de conexión del Driver TB6600.

Motores Paso a Paso

Son los encargados de recibir las órdenes de los drivers, y en consecuencia mover sus ejes que derivan en los desplazamientos necesarios.

Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, es decir, que la característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique, el cual puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Existen dos tipos de motores paso a paso:

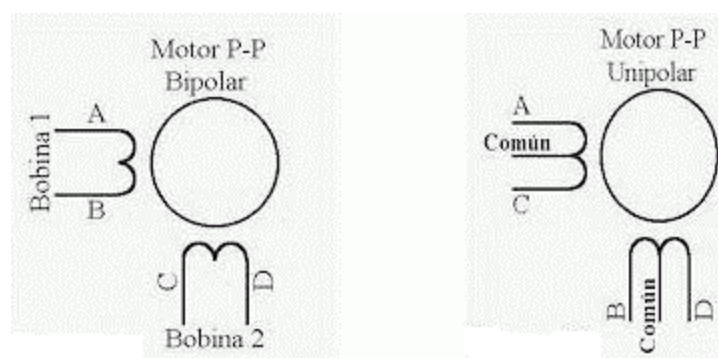


Figura 44: Tipos de motores PaP.

Unipolares: estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

Bipolares: Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

Para este proyecto fueron elegidos dos motores bipolares, debido a que son capaces de entregar un mayor torque que los unipolares.

Una forma de saber a qué cable corresponde cada bobina es utilizando el tester en modo continuidad, los dos cables que tengan continuidad formarán una bobina, y los otros dos restantes serán los de la segunda bobina. Luego solo deberemos averiguar la polaridad de la misma, la cual se obtiene fácilmente probando. Es decir, si conectado de una manera no funciona, simplemente damos vuelta los cables de una de las bobinas y

entonces ya debería funcionar correctamente. De todos modos, generalmente los motores traen un color de cable específico para cada bobina, acorde a la imagen siguiente.



Figura 45: Color de cables de motores PaP bipolares.

Si bien hay que decir que para estos motores, la máxima frecuencia admisible suele estar alrededor de los 625 Hz. Si la frecuencia de pulsos es demasiado elevada, el motor puede reaccionar erróneamente en alguna de las siguientes maneras:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Lo importante es realizar las pruebas pertinentes con el motor en vacío (eje libre), para lograr encontrar una velocidad de funcionamiento adecuada.

Luego de una gran investigación se llegó a conclusión de utilizar un motor NEMA 34 y un NEMA 23, ambos bipolares de gran torque, 4[A] de corriente y 1,8° por paso, lo que implican 200 pasos para lograr un giro de 360°.



Figura 46: Motor PaP NEMA 34.



Figura 47: Motor PaP NEMA 23.

Variador de frecuencia

Es un sistema para el control de la velocidad de giro en motores de corriente alterna (AC) mediante el control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70%. Es decir, es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y éste la regula antes de que llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento. Tienen una muy fácil instalación y no requieren de mantenimiento.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.

Variador WEG CFW500



Figura 48: Variador de frecuencia Weg CFW500.

Fue el elegido para llevar a cabo esta tarea de control, principalmente porque ya estaba comprado y en desuso, por lo tanto no fue necesaria realizar la inversión.

Especificar cada uno de los datos técnicos sería algo muy engorroso, debido a que es un variador muy completo y escaparía a los fines del informe entrar en tanto detalle técnico. De todos modos se cuenta con el manual de usuario y de programación del mismo, tanto en formato digital como impreso. También puede ser descargado de la página oficial de Weg.

La primera acción realizada fue configurar los parámetros del variador acorde al motor trifásico instalado, como por ejemplo, corriente nominal, potencia en HP, factor de potencia, frecuencia, etc. Todo esto se realiza una sola vez usando de guía el manual de programación y luego los valores quedan guardados para siempre hasta que se decida volver a modificarlos.

Lo importante a destacar de este variador es que cuenta con módulo plug in instalado con entradas y salidas digitales y analógicas para decidir qué tipo de control se tendrá sobre el mismo, el cual puede ser local desde el panel frontal del aparato como el que se ve en la siguiente imagen.



Figura 49: Panel frontal variador Weg CFW500.

Donde se aprecia el botón de marcha y paro, la selección del sentido de giro, el tipo de control a elegir (local o remoto), y las flechas para moverse dentro del menú de configuraciones y sus botones para entrar y salir del mismo. El botón JOG lo que hace mientras se lo tiene pulsado es llevar la frecuencia de salida al valor prefijado con anterioridad acorde a la rampa de aceleración también prefijada y una vez que se lo suelta, desacelera hasta cero acorde a la rampa de frenado.

En cuanto al control remoto, el plug in que trae este variador es el siguiente:



Figura 50: Plug in variador Weg CFW500.

En total tiene 16 pines, de los cuales cuatro son entradas digitales, pin (1, 3, 5, 7), que pueden ser configuradas de distintas maneras, esto se observa con detenimiento en el manual de programación. Dos salidas digitales, una pin 10 y la otra abarca los pines 11, 13 y 15. El pin 9 corresponde a una fuente de corriente continua de 24[V] y el pin 8 a una de 10[V]. Dos pines de masa (4 y 16), una entrada analógica (pin 6), que puede ser

utilizada para controlar la salida de frecuencia mediante la conexión de un potenciómetro de 10k, con su pata del medio en este pin, y los dos extremos uno al pin 4 y el otro al pin 8. También se observa una salida analógica (pin 2) y por último los pines 12 y 14 son los requeridos para realizar el control mediante interfaz RS485, muy utilizada a nivel industrial debido a su confiabilidad y gran inmunidad al ruido.

Gracias a la gran versatilidad del variador, se pueden combinar el control remoto y el local, que es lo que finalmente se hizo por simplicidad.

La salida de frecuencia la determinará el panel frontal, de este modo nadie tendrá acceso directo a ella y así se evitará una desconfiguración a futuro por parte del alguien no capacitado.

Mientras que tanto la marcha y paro, como el sentido de sentido de giro del motor los gobernará el Arduino desde las entradas digitales del variador. Para lograrlo, el Arduino activa o desactiva módulos que contienen relés de 5[V].

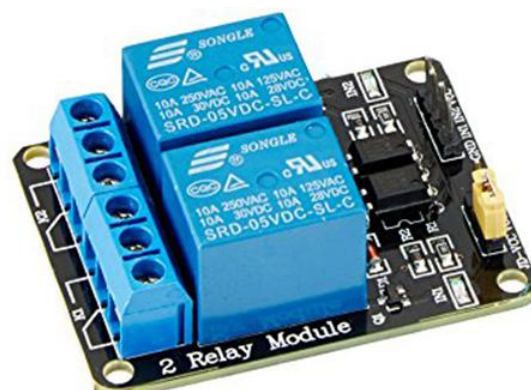


Figura 51: Módulo de dos relés de 5[V] Arduino.

Su conexión es simple, por un lado está la parte lógica, donde se alimenta al módulo con los 5[V] y GND provenientes del Arduino y las entradas IN1 e IN2 para controlar los estados encendido o apagado de cada relé, lo cual será indicado mediante un LED.

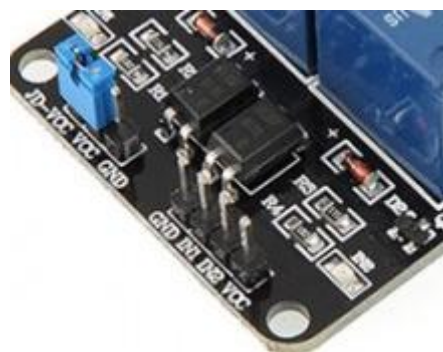


Figura 52: Parte lógica del módulo de relés.

En el otro extremo, y de forma optoacoplada con la parte lógica, se encuentra la parte de potencia con sus 3 pines para cada relé. Tenemos el contacto normal abierto (NO), el común (COM) y el normal cerrado (NC). Aquí es donde entra en juego la conexión al variador. El común de cada relé es conectado a la fuente de 24[V] (pin 9 del variador), mientras que los NO son conectados a las entradas digitales DI1 y DI2.

De esta forma, al encender o apagar un relé tenemos el run/stop del variador y al encender o apagar el otro relé, marcamos el sentido de giro del motor trifásico.

Cabe destacar que para lograr todo esto fue necesario configurar todo el variador desde sus parámetros, haciendo uso de los manuales provistos por el fabricante.

Motor Trifásico

Son motores diseñados para trabajar con corriente alterna (AC) trifásica, corriente utilizada en muchas aplicaciones industriales. El motor trifásico más utilizado es el motor asíncrono trifásico de inducción que funciona gracias a los fenómenos de inducción electromagnética, que relacionan la electricidad con el magnetismo. Son los más utilizados en la industria por su sencillez, robustez y fácil mantenimiento.

Los sistemas trifásicos utilizan tres o cuatro conductores. 3 Fases o 3 Fases + Neutro. Al trabajar con 3 fases y el neutro podemos obtener 2 tensiones diferentes, normalmente 230V entre fase y neutro y 400V entre dos fases. Los valores de las 3 tensiones (una de cada fase) están desfasadas 120° una respecto a la otra en el tiempo. A las 3 intensidades les pasa lo mismo. Esto se observa en la siguiente imagen:

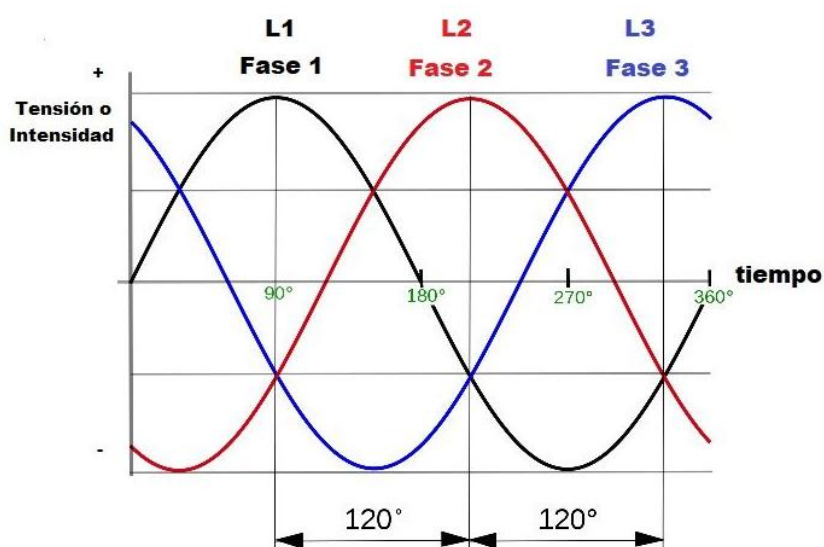


Figura 53: Sistema trifásico de corriente alterna.

El motor elegido para esta aplicación fue uno marca Weg de 2 HP, cuya chapa de datos técnicos completos es la siguiente:

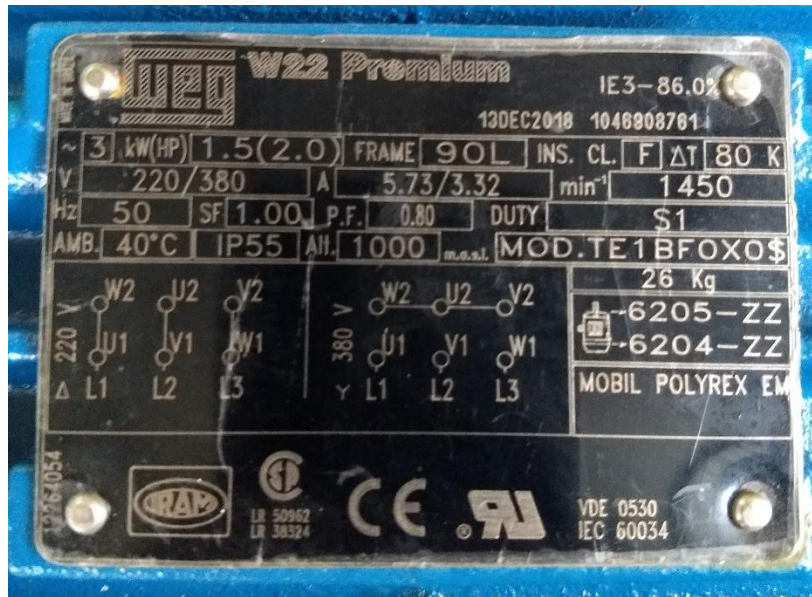


Figura 54: Chapa del motor trifásico.

Los datos de importancia son la potencia (2 HP), la corriente (3,32[A]), la frecuencia (50 [Hz]) y el factor de potencia (0,80). Estos datos fueron cargados y fijados a los parámetros correspondientes del variador de frecuencias.

Su tarea consistirá pura y exclusivamente en mover el husillo del torno a las RPM y sentido de giro configurados desde el variador.

Reductor de Velocidad

Sin mucho más que agregar que lo su nombre indica, son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos, de explosión u otro, funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Lo que genera al disminuir la velocidad es incrementar en gran medida el torque brindado al motor. De esta manera, con un motor chico y un reductor de velocidad acoplado, se logra cumplir la misma función que con un motor grande. Que además de tener un costo más elevado, implica un mayor consumo eléctrico.

Cada reductor trae una relación de transmisión distinta y adecuada a la aplicación requerida. Para este caso, se utilizó un reductor 80:1, es decir, 80 vueltas del eje del motor trifásico es una sola vuelta de la salida del reductor, donde irá conectado el husillo del torno a través de un sistema de engranajes y cadena.



Figura 55: Reductor de velocidad.

Existen distintos diseños de reductores. Este en particular tiene una gran precisión que ha sido medida con anticipación. Si bien no es necesario tanta precisión al momento de girar el husillo, este dato puede ser de importancia cuando se lleve a cabo otras aplicaciones que sí lo requieran.

A continuación se puede observar la nueva transmisión terminada del husillo, compuesta por el motor trifásico, el reductor de velocidad y el juego de poleas, engranajes y cadena.



Figura 56: Transmisión final del husillo.

Soldadora MIG

La soldadora MIG/MAG es un proceso de soldadura con arco eléctrico en el que un electrodo de hilo sin fin, se funde bajo una cubierta de gas protector. Se caracteriza por las diversas posibilidades de uso dependiendo del material, grado de mecanización y posición de soldadura.

Es mucho más productiva que la soldadura MMA donde se pierde productividad, ya que se debe parar para cambiar el electrodo consumido. Por su parte, este tipo de soldadora debido a la utilización de hilos sólidos e hilos tubulares, ha aumentado su eficiencia desde un 80 a un 95%. De esta manera, realizar trabajos de soldadura con este equipo es muy versátil, gracias a que deposita el metal rápidamente y en distintas posiciones. Asimismo, se usa comúnmente en espesores delgados y medios, en fabricaciones de acero y estructuras de fusiones de aluminio.

Este tipo de soldadoras presentan más ventajas que desventajas:

- Posiciones al soldar: al igual que con las soldadoras TIG, estas no darán ningún problema a la hora de realizar un trabajo de ensambladura en cualquier posición.
- Resultados esperados: observar detenidamente el trabajo luego de terminarlo te ayudará a darte cuenta de la calidad del acabado. Puedes conseguir mucho con tan poco.
- Diferentes grados de espesores: se pueden realizar las tareas en espesores comprendidos entre 0,7 y los 6mm, sin necesidad de preparar los bordes.
- No emite agentes de contaminación: consigue una reducida emisión de gases contaminantes o tóxicos para la atmósfera.
- Comodidad de trabajo: esto depende de las habilidades que tenga el soldador, el proceso puede convertirse en automático o semiautomático, consiguiendo buenos resultados sin aplicar mucho esfuerzo.
- Excelente producción y calidad: se puede conseguir la degradación de cantidades de metal (incluso hasta 3 veces que con otros procedimientos).

No todo podía ser bueno, también presenta desventajas a considerar antes de seleccionar este equipo de soldadura:

- Alto costo: así como su manera de operarla es sencilla, el precio del equipo puede ser bastante alto. Lo que quiere decir que si manejas un presupuesto limitado, te será complicado el adquirirla.
- Dificultad de uso en lugares delicados: la mayoría de los soldadores no siempre la recomiendan para trabajar en lugares de difícil acceso.

Es importante antes de ponerte a trabajar con la soldadora MIG/MAG, leer de forma cuidadosa todas las instrucciones así conocer de antemano las precauciones, el gas adecuado, tipo de alambre, entre otra información relevante; todo esto, con el fin de evitar cualquier problema.

Para el proyecto en cuestión, se posee una soldadora MIG con una enorme capacidad de trabajo.



Figura 57: Soldadora MIG utilizada.

El control sobre la misma por parte del Arduino consta de un relé como el usado en el variador de frecuencia, pero en este caso sólo como interruptor, reemplazando al que tienen las torchas comunes en su manillar. Es decir, el Arduino envía la orden de soldado activando y desactivando un relé.

A modo de monitorear los parámetros de la MIG y lograr determinar que la máquina efectivamente está soldando, se utilizó un presostato en el tubo de gas. En condiciones normales de funcionamiento, la MIG trabaja con 2,5 bares de presión. Este presostato tiene un rango de trabajo que se puede calibrar entre 0,7 y 6 bar, por lo tanto cuadra perfecto para aplicación que se lo necesita.

Su uso consistió ser de centinela cuando la presión del tubo es muy inferior a la requerida, enviando una señal al Arduino a través del contacto NC que tiene el dispositivo. Como no se requería conocer el valor exacto de la presión, directamente se lo utilizó como entrada digital.



Figura 58: Presostato para la MIG.

Otro de los parámetros medidos con el mismo propósito fue la luz producida por la máquina al soldar. La idea es sencilla, si el sensor de luz no está detectando actividad, significa que la máquina no está efectivamente soldando.



Figura 59: Sensor de luz.

El sensor en cuestión consta de un LDR en su parte delantera, que arroja un valor resistivo acorde a la intensidad de luz detectada. Este valor es comparado con el del potenciómetro azul que se ve en la imagen y dependiendo del resultado de esta comparación, en el pin digital “DO” tendremos un estado alto o bajo y al mismo tiempo será indicado en el leds del sensor. Los otros dos pines corresponden a la alimentación “Vcc” y masa conectada al Arduino.

Para calibrar el valor de luz al cual se quiere que funcione el sensor, se lo hizo cuando la máquina estaba soldando. De este modo, no detectará valores erróneos como válidos, como por ejemplo la luz ambiente.

Un detalle muy importante con respecto a la soldadura fue la masa de la máquina. Gracias a fuentes de información oportuna se logró saber que la masa no puede ir directamente puesta en la carcasa del torno, como la intuición nos lo indica. Esto es porque de hacerlo así, la MIG estaría haciendo masa a través de los rodillos del husillo, provocando que los mismos se fundan por calor.

La solución a este inconveniente fue fabricar una masa rotativa, colocada en el husillo del torno, para que la máquina haga masa directamente sobre la pieza y no a través de los rodillos.

Para lograrlo, se recicló un rotor de un motor de DC viejo. Este fue fijado al husillo del torno con un rodamiento en su extremo de forma que copie su movimiento de rotación. El contacto de la masa se hace gracias a los carbones del sistema. Obteniendo así una solución algo desprolija pero que cumple su función a la perfección.

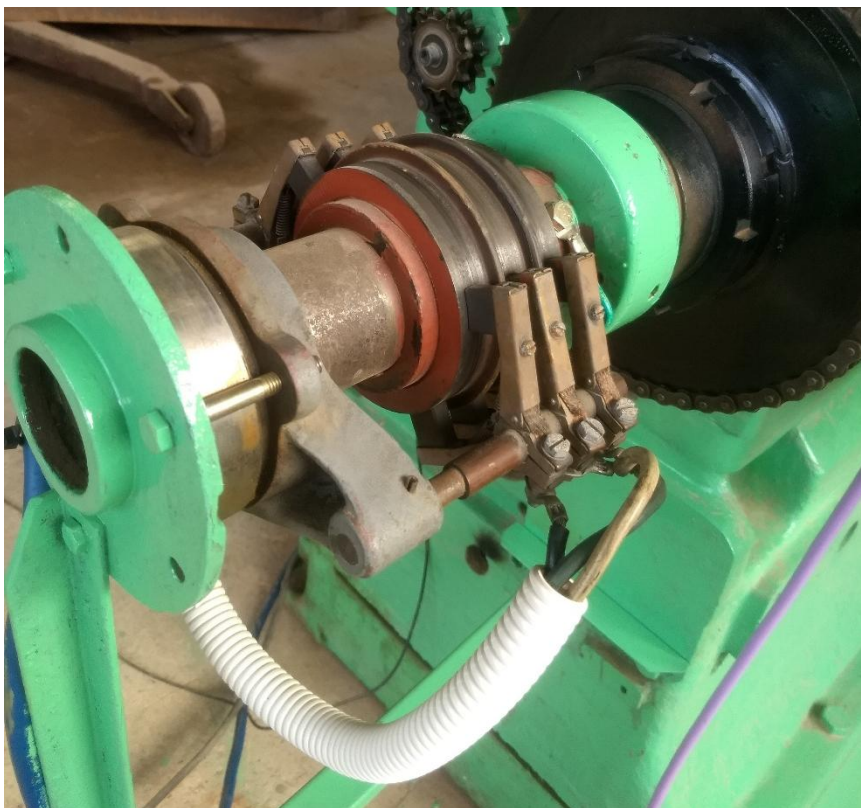


Figura 60: Masa rotativa para la MIG.

Dificultades

La forma más ordenada de comentar las dificultades de cada parte del esquema, es mencionando cada etapa por separado.

Raspberry: el mayor inconveniente fue la “puesta en marcha” del equipo, esto debido a la falta de experiencia y a principalmente en ser cauteloso para no dañarlo. Una vez descargado e instalado el sistema operativo y todas sus configuraciones iniciales, no ocurrió ningún problema. Cabe destacar que para lograr que todo funcione correctamente, fue necesario recurrir a tutoriales de internet.

Pantalla: si bien la instalación es sencilla, es necesario realizar unos ajustes para que funcione correctamente. Para ello también se recurrió a apoyo de otras personas que lo han hecho antes y se tomaron el trabajo de realizar tutoriales. Otra cuestión a nombrar es que vino con una pequeña falla de fábrica, uno de los flex traseros estaba torcido y no hacia bien contacto, lo que derivaba en líneas de colores a un costado de la pantalla y una imagen poco nítida. Solucionado eso no se presentaron más problemas hasta el momento.

Interfaz: fue mutando varias veces su contenido hasta lograr la interfaz explicada con anterioridad. Uno de ellos fue la incorporación la ventana secundaria para elegir el tipo de proceso. Se optó por generar una segunda ventana para que no quede todo el contenido apretado en una sola ventana principal. Fue necesario cambiar un poco la lógica de programación, pero al final se logró el resultado esperado.

Arduino: gracias al haberlo usado con anterioridad, este dispositivo no presentó ningún problema.

Driver: luego de estudiar e informarse sobre su funcionamiento y configuraciones mencionadas, nada salió fuera de lo normal.

Motor PaP NEMA 23: este motor fue mal pedido y vino en tamaño muy chico, por lo tanto no lograba mover con fluidez el brazo donde va colocada la torcha para soldar. La solución fue comprar otro de igual modelo, pero de mayor torque y corriente que al anterior.

Variador de frecuencia: la poca experiencia con este tipo de aparato llevó a que se requiera de mucho tiempo de investigación al momento de realizar el control. Si bien cuenta con manuales de configuraciones y de usuario, su alta complejidad hizo que fuera necesario recurrir a foros de investigación para lograr interiorizarse con su manejo. La principal incertidumbre provenía del control de forma remota. En principio se trató de controlarlo vía RS485 pero la falta de tiempo y de información llevó a realizar el control desde las entradas digitales. Si bien como se explicó antes, mediante el uso de relés es una tarea sencilla, llevó su tiempo lograr encontrar la información adecuada para su correcto funcionamiento y sin poner el peligro el aparato.

Motor trifásico: al terminar de instalar la nueva transmisión del husillo, se probó el motor dando como resultado que era de muy poca potencia y se sobre exigía demasiado, por lo tanto fue necesario cambiar el motor por otro, esto llevó a que las configuraciones iniciales del variador de frecuencia también cambien.

Reductor de velocidad: al ser un sistema mecánico, no presentó ningún tipo de inconveniente y cumple su función sin problemas.

Máquina de soldar: haciendo a un lado lo correspondiente a la masa rotativa, otro inconveniente que hubo fue un exceso de temperatura en la tobera de la torcha, lo que llevó a que la misma se dañe y no sirva más. La solución a esto fue reemplazarla.



Figura 61: Tobera dañada.

También fue necesario cambiar el sistema de sensado para monitorear el funcionamiento de la máquina. En principio se había pensado medir el voltaje de salida para así en función de éste, determinar si la máquina efectivamente estaba soldando o no. En teoría era algo sencillo y funcional, pero llevado a la práctica, se encontró que al compartir la masa de la máquina de soldar y la del Arduino, se introducía ruido eléctrico al sistema provocando que el funcionamiento no sea el deseado. La solución fue cambiar este sensado directo por el indirecto de medición de luz.

Tablero Principal

Como es de imaginarse, los dispositivos no pueden estar sueltos. Por lo tanto es necesario contar con un tablero que albergue a cada uno de ellos de la forma más ordenada posible, junto con todo el cableado que los comunica entre sí. Las medidas del tablero seleccionado son de 0,3 [m] de ancho y 0,45[m] de alto.

A continuación se observa cómo se comenzó a ordenar los componentes dentro del mismo, hasta lograr encontrar la mejor posición para cada uno.



Figura 62: Disposición de componentes en el tablero.

Luego de cuidadosa tarea de ubicación y cableado, terminó concluyendo internamente de la siguiente forma.

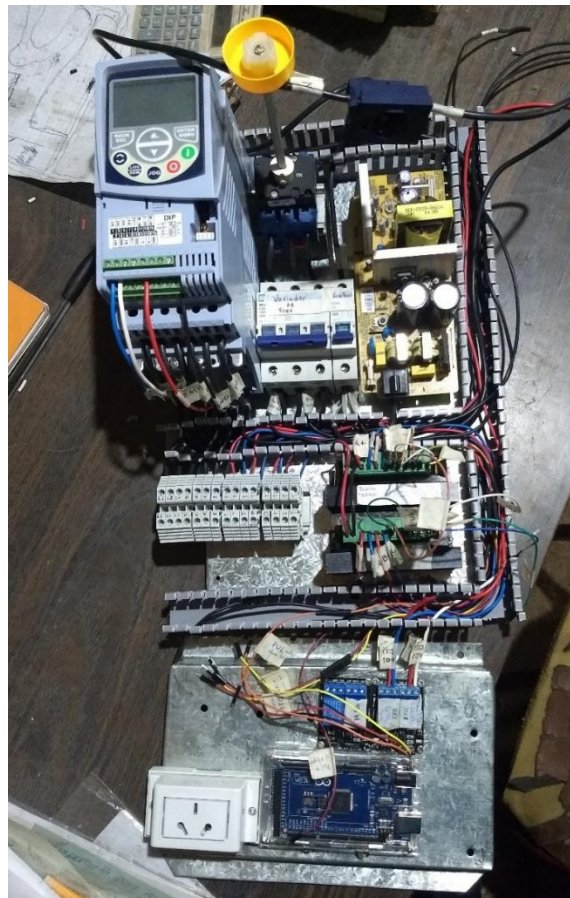


Figura 63: Cableado del tablero principal.

Se puede apreciar el uso de canaletas ranuradas para pasar todos los cables. Una vez finalizada la instalación, se coloca una tapa a cada una, ocultando los cables y quedando a la vista sólo los dispositivos, como ser el variador, la fuente, los drivers de los PaP, el Arduino, la llave térmica, los módulos de relés, un toma corriente para la RPI, el interruptor trifásico y las borneras de conexión. Algunos montados sobre riel din y otros fijados a la chapa a través de tornillos.

Una vista interna al tablero ya finalizado es la siguiente.

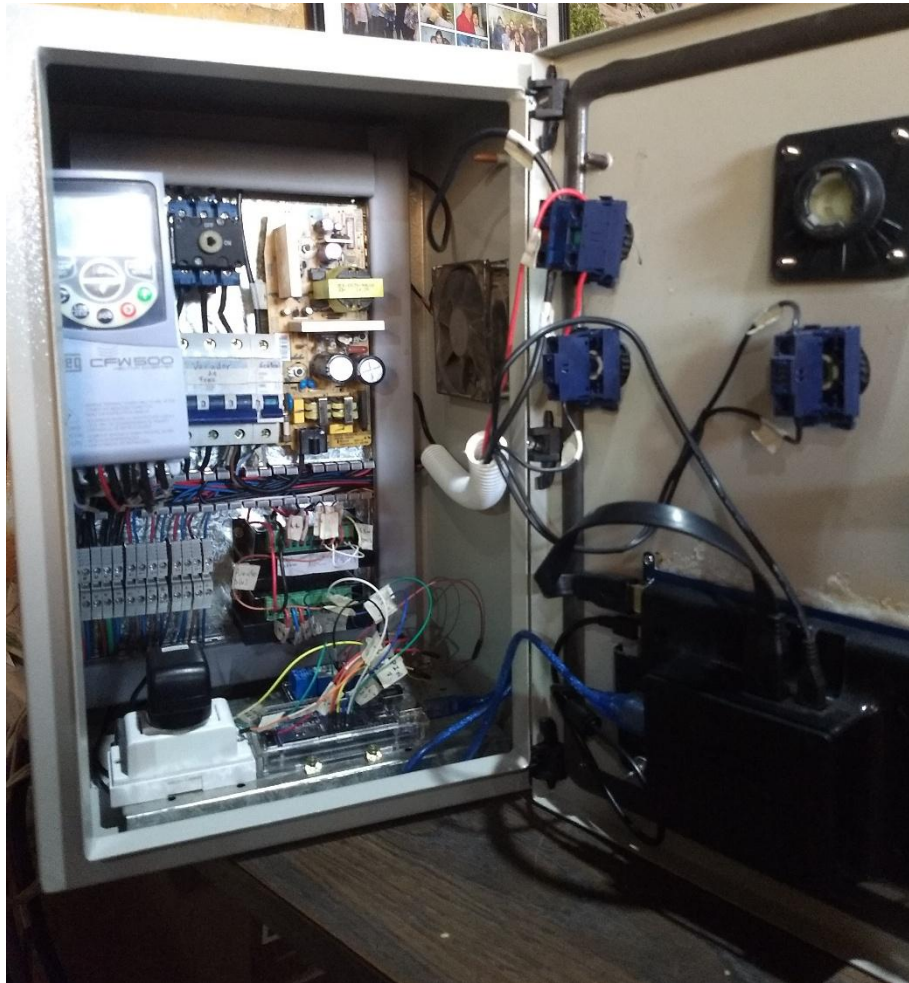


Figura 64: Vista interna del tablero finalizado.

Además de los componentes antes mencionados, se puede ver un ventilador para extraer el posible calor que haya adentro del tablero cuando esté en funcionamiento y cerrado. En la puerta se encuentran los contactos de las luces y el interruptor trifásico, como así también la parte trasera de la pantalla, la cual alberga a la RPI.

Del lado externo, y a lo que tendrá el acceso el operario se ve de la siguiente forma.



Figura 65: Vista externa del tablero finalizado.

En el costado se aprecia la salida del ventilador y en el frente la pantalla con el escritorio iniciado de la RPI, indicado con la luz verde debajo del interruptor trifásico. Lo que resta que se puede apreciar es un pulsador con luz roja, el cual se encenderá cuando se accione el pulsador tipo hongo correspondiente a un parada de emergencia, como su nombre indica, será pulsado ante cualquier emergencia, desenergizando los dispositivos y consecuentemente frenando todo lo que se esté ejecutando.

El PE corta el suministro eléctrico de la RPI, provocando que el Arduino también quede sin energía, al ser este último el cerebro general, se frenan automáticamente todos los motores. Cuando está pulsado el PE se apaga la luz verde y se enciende la luz roja, una vez que se gira y destraba, vuelve a encender la luz verde y la roja se apaga. Este juego de indicadores se logra gracias a los contactos NA y NC de cada pulsador, ubicados del lado interno de la puerta.

Dificultades del Tablero

La mayor adversidad sin dudas fue lograr dar con la posición adecuada de los elementos. Sumado a esto, que algunas conexiones tuvieron que ser cambiadas, siendo que ya estaban hechas con anterioridad de otra forma y debido al estar todo embutido y los cables pasados por las canaletas ranuras se complicó un poco, pero fue cuestión de paciencia y dedicación para que todo quede en perfectas condiciones.

Disposición Final, Calibración y Funcionamiento

Como era de esperarse, que todo funcione como lo deseado llevó sus varias pruebas y tiempo invertido.

Entre las pruebas que se fueron haciendo para lograr su calibración, se puede observar los distintos desplazamientos de la torcha para lograr el espesor final del cordón de soldadura.



Figura 66: Prueba de espesor del cordón de soldadura.

El modo de saber ese desplazamiento consistió en distintas mediciones para determinar cuánto se desplazaba la mesa de forma horizontal al enviarle X cantidad de pulsos al PaP NEMA 34. El resultado obtenido fue que al enviarle 10.000 pulsos al motor, la mesa se movía aproximadamente 8 [mm]. Al saber que la distancia entre una vuelta de soldadura y la otra es de unos 7 [mm], por regla de tres simples se calculó que se necesitaban 8.680 pulsos para llegar a esa distancia recorrida. Mediante prueba y error, se llegó a la conclusión de que era necesario mover la torcha 5 veces de forma horizontal para obtener el espesor final de la foto.

La pieza que se aprecia en la imagen era sólo de prueba, la original tiene su mismo diámetro pero es de una longitud mayor. A la vez se encuentra embutida en un cono de hierro, con el objetivo de separarla del plato del torno y que éste último no reciba el calor tan de cerca ni tampoco se corra el riesgo de soldarlo. Este separador se ve a continuación.

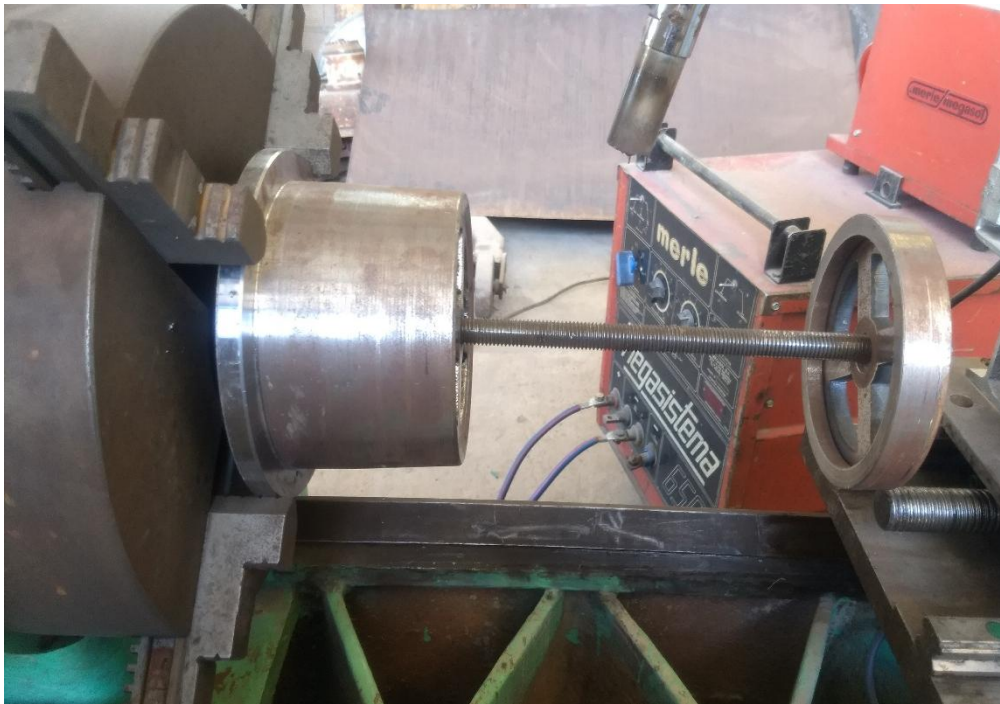


Figura 67: Cono separador.

El mismo criterio de cálculo de pulsos fue utilizado con el movimiento vertical, controlado por el motor PaP NEMA 23, llegando a la conclusión que se necesitan 10 elevaciones para lograr la altura deseada.

La posición final de torcha quedó de la siguiente manera.



Figura 68: Ubicación final de la torcha.

Está sostenida en dos puntos para evitar que pivotee debido al peso de los cables. El soporte delantero está hecho en forma de C apretado con tornillos, en caso de querer mover la torcha para alguno de los costados basta con aflojar esos dos tornillos, elegir la posición deseada y volverlos a apretar para dejarla fija.

Si se presta atención, en los extremos de los rieles verticales se ven los finales de carrera utilizados para evitar que la torcha se escape de los límites físicos. Lo mismo está implementado en la mesa horizontal.

Su funcionamiento es simple, el tocar la palanca se activa el contacto del final de carrera enviando una orden al Arduino, el cual interpreta que debe frenar el movimiento en esa dirección. El diagrama de conexión es el siguiente.

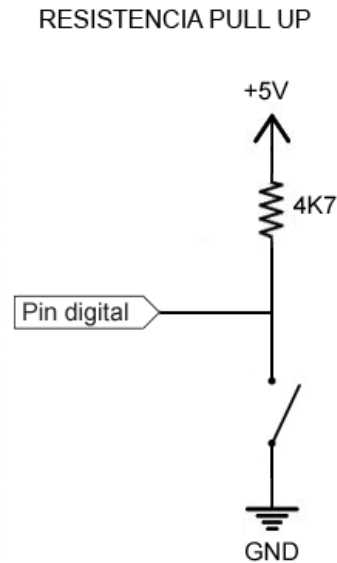


Figura 69: Interruptor Pull Up.

La velocidad de giro del husillo fue prefijada en el variador de frecuencia acorde a la potencia de soldado de la MIG. Para un indicador de 9 en su selector de potencia y una velocidad de alambre de entre 3 y 5, la salida del VdF es de 9[Hz].

Con respecto al funcionamiento final de la máquina, luego de probar varios métodos en lo que corresponde al movimiento de los motores, se optó con que sea el siguiente:

Primero el operario enciende la máquina de soldar y el tablero principal desde el interruptor trifásico, una vez iniciado el sistema operativo de la RPI, se ingresa a la aplicación de la HMI y se coloca la torcha en la posición inicial de trabajo, esto último lo hace gracias a los movimientos manuales de los PaP. Luego selecciona el proceso automático en la interfaz gráfica y da el inicio al mismo.

La MIG comenzará a soldar y el husillo a girar de forma permanente. Cuando se cumple cada vuelta de soldado, indicada gracias a un sensor inductivo colocado en el husillo como lo indica la figura 70, la MIG deja de soldar y la torcha se va desplazando de forma horizontal, esperando que se vuelva a cumplir la vuelta de giro para que no se acumule tanta temperatura por trabajo continuado. Cuando se logra el ancho deseado del cordón, la torcha se eleva unos milímetros y es devuelta a la posición inicial. Esto se hace así, para que el relleno vaya quedando siempre delante de la tobera y no por detrás, ya que si así fuera, le transmitiría mucho calor pudiendo dañarla.



Figura 70: Sensor inductivo detectando.



Figura 71: Sensor inductivo apagado.

Las dos imágenes anteriores muestran el funcionamiento del sensor inductivo al ser utilizado como cuenta vuelta. En la primera imagen, el metal pasa por delante de la cabeza azul, el sensor lo detecta y envía una orden al Arduino en forma de interrupción para indicar que se ha cumplido con una vuelta. El led rojo de su parte trasera nos avisa cuando el sensor ha detectado un metal en su rango de alcance que es de aproximadamente 4 [mm] para este tipo de sensor.

En la segunda imagen, la pieza metálica ya ha pasado el sensor, por lo tanto el led rojo se muestra apagado. Cabe destacar que este sensor es de tipo digital, esto quiere decir que su salida será de estado alto o bajo dependiendo si el mismo está detectando algún metal o no.

Continuando con el funcionamiento, las pasadas siguen siendo igual de repetitivas, hasta que se obtiene el alto deseado del primer cordón. Una vez finalizado el primer cordón, la torcha se desplaza horizontalmente hacia la derecha y verticalmente hacia abajo hasta el inicio del próximo cordón, volviendo a repetir todo el proceso antes mencionado.

En caso de que en algún momento se interrumpa el proceso, debido al accionar de algún sensor o que el operario lo haya detenido intencionalmente con el botón frenar, luego de solucionado el inconveniente, el operario vuelve a pulsar "INICIO" en la interfaz gráfica y se tomará como punto de partida el punto final antes de que se haya producido la interrupción, gracias a que se conservan los valores de las variables involucradas en el funcionamiento.

Si por el contrario, el proceso se detuvo debido a una falta de energía, ya sea través del PE, un corte de luz o el fin de una jornada laboral, se deberá pulsar el botón "CONTINUAR". Al desenergizarse el Arduino, los valores de las variables son perdidos. Para lograr que la máquina "vuelva a saber" en qué posición se encuentra la torcha tanto en alto como en ancho, lo que se hace es un "homing". Consiste en llevar esta última a un punto específico conocido por la máquina, en este caso, a los finales de carrera de los extremos, primero al del extremo superior y luego a alguno de los extremos de la mesa. Se cuentan los pulsos de motor que lleva llegar hasta ahí y gracias a ellos podemos determinar cuánto falta para llegar al otro extremo del eje, o mejor aún, al punto donde queremos que finalicen los movimientos y dar por finalizado el proceso. Por supuesto, la torcha es devuelta a la posición en la que se encontraba antes de realizar el homing y luego se da por continuado el proceso.

Dificultades de la Calibración Final

El lograr conseguir que todo el conjunto funcione de forma automática como lo deseado, llevó más tiempo y dedicación de lo esperado.

Al principio se desarrolló la programación de modo que el giro de la pieza sea controlado por tiempo, es decir, pasado un tiempo determinado, la máquina iba a saber que dio una vuelta completa de la pieza y por lo tanto debía mover los motores PaP. Si bien el sistema funcionaba, no era del todo confiable debido a que cada vez que se elevaba la torcha cambiaba el diámetro de la pieza y por lo tanto el tiempo de giro para lograr dar la vuelta completa. Fue por esto que se planteó colocar el sensor inductivo a modo de cuenta vueltas y eliminar cualquier variable de tiempo en la programación, ya que independientemente del diámetro de la pieza, el sensor va a avisar cuando la vuelta se cumpla. Por supuesto que para lograr esto fue necesario cambiar toda la programación que se tenía de la parte automática, lo cual implicó bastante trabajo extra pero al final, una vez terminado y probado, se concluyó que fue una buena decisión.

El otro inconveniente que hubo y de forma inesperada fue la aparición de ruido eléctrico por parte del motor trifásico, lo que generaba que el Arduino se descontrolara y funcionara muy mal. Después de probar varias cosas sin resultado, entre las cuales fueron cambiar puestas de masa, apantallar cables y agregar filtros, se dio con que la solución fue aislar el motor trifásico de la carcasa del torno, colocando una madera entre la base metálica y la carcasa del motor y revistiendo los tornillos de anclaje con arandelas de goma para evitar que toquen alguna parte metálica. Una vez hecho esto, se terminaron los problemas y se pudo seguir haciendo pruebas de soldadura.

Capítulo 4: Resultados

A continuación se realiza una pequeña comparación de cómo estaba antes y cuál fue el resultado obtenido luego de la restauración e instalación de los equipos electrónicos al torno.



Figura 72: Proyecto antes. Vista 1.



Figura 73: Proyecto finalizado. Vista 1.



Figura 74: Proyecto antes. Vista 2.



Figura 75: Proyecto finalizado. Vista 2.

Como claramente se ve, la diferencia es notoria. Se pasó de una máquina en desuso y oxidada por completo, a otra restaurada y funcional con una automatización importante.

En cuanto a las piezas fabricadas, luego de varios ajustes y tareas de calibración, se obtuvo un resultado satisfactorio que cumple a la perfección con el objetivo planteado en un principio.

Las siguientes imágenes muestran cómo quedó una cámara de compresión luego de realizado el relleno.



Figura 76: Cámara de compresión rellena. Vista 1.



Figura 77: Cámara de compresión rellanada. Vista 2.



Figura 78: Cámara de compresión rellanada. Vista 3.

Se pueden observar las distintas capas de soldadura, debido a las elevaciones de la torcha. Así como también el derramado que se produce cuando se llega a los límites de cada cordón. Es por estas imperfecciones imposibles de controlar, que se requiere que el espesor y la altura sean unos milímetros más del necesitado. De esta forma, cuando se rectifica y se lleva a la medida indicada en el plano, todo eso queda eliminado.

A continuación se muestra una imagen de la pieza ya rellena y rectificada a medida, corroborando que el relleno fue bien hecho. Recordando que la parte correspondiente a la rectificación es llevada a cabo por otra máquina distinta a la desarrollada en este proyecto.



Figura 79: Cámara de compresión rellanada y rectificada.

Capítulo 5: Análisis de Costos

Los costos de los materiales utilizados se detallan a continuación. Hay que tener en cuenta que algunos de ellos fueron reciclados y por lo tanto no es posible determinar su valor. Un ejemplo de ello es el mismo torno, como así también la mesa horizontal de bolas recirculantes y la máquina de soldar.

PRODUCTOS	PRECIO
<i>Variador de Frecuencia Weg CFW500</i>	\$ 32.000
<i>Kit de Motores (un NEMA 34 y un NEMA 23), Fuente Lineal y Drivers</i>	\$ 27.000
<i>Motor Trifásico Weg 2 HP 1500 RPM</i>	\$ 14.000
<i>Kit Eje CNC</i>	\$ 7.800
<i>Reductor de Velocidad</i>	\$ 5.000
<i>Pantalla táctil de 7 Pulgadas</i>	\$ 3.960
<i>Tablero 450x300x200</i>	\$ 3.500
<i>Kit Raspberry PI 3 B +</i>	\$ 2.780
<i>Gabinete para Pantalla Táctil de 7 Pulgadas</i>	\$ 1.380
<i>Presostato HLP506</i>	\$ 1.200
<i>Interruptor Trifásico</i>	\$ 980
<i>Arduino MEGA</i>	\$ 830
<i>Módulo Relay 2 Canales</i>	\$ 280
TOTAL	\$100.710

Tabla 1: Tabla de costos.

A esto se le suman varios materiales más que ya pertenecían al stock de la empresa, y por lo tanto no fue necesario comprarlos. Por ejemplo: los cables, las canaletas ranuradas para pasar los mismos, el riel din, las borneras, los finales de carrera y los pulsadores.

Un detalle muy importante, son las incontables horas de trabajo metalúrgico correspondiente al mecanizado de piezas para poner al torno en condiciones mecánicas de funcionamiento, como así también los materiales utilizados para ello.

En cuanto al precio de mano de obra es muy difícil determinarlo, debido a que fue un trabajo muy particular que requirió de mucha investigación y desarrollo. Sin olvidar el hecho de la restauración mecánica, con el esfuerzo que eso conlleva.

Por todo lo mencionado anteriormente, se considera un costo de mano de obra estimativo de \$550.000, correspondiente a casi un año de trabajo.

Capítulo 6: Discusión y Conclusión.

En principio se contaba con una máquina completamente abandonada y afectada por el paso del tiempo. A modo de desafío, los dueños plantearon la idea de una restauración y luego automatización de la misma, con el objetivo de utilizarla junto a una máquina de soldar para realizar rellenos de soldadura y fabricar una pieza de uso cotidiano y necesidad para ellos. Dicha tarea hasta el momento estaba siendo realizada a mano por parte de un operario al cual le llevaba casi dos jornadas completas de trabajo (de 12 a 14 Hs.), lo que presentaba un trabajo muy exhaustivo y tedioso.

Luego de mucho trabajo empleado, tanto en aspectos mecánicos como electrónicos, se obtuvo un conjunto de máquinas completamente funcional, robusta y de fácil uso, lo cual genera una enorme satisfacción personal dada las condiciones iniciales, logrando cumplir los objetivos propuestos del proyecto. Liberando así a un operario de una agobiante tarea y al mismo tiempo reduciendo considerablemente los tiempos de fabricación. De las 12 a 14 horas manuales, se pasó a entre 7 u 8 horas utilizando la máquina.

Los costos de fabricación fueron un poco elevados debido a la complejidad del proyecto, pero considerando los resultados obtenidos, la empresa está muy satisfecha porque es consciente que fue una buena inversión, amortizable dentro de un corto lapso de tiempo.

Entre los principales problemas, como era de esperarse, fue la calibración de todo el conjunto, por tratarse de dos máquinas completamente distintas trabajando de forma autónoma. La solución a ellos fue mucha prueba y error y el uso de sensores que hagan las veces de “sentidos” y brinden información del funcionamiento en todo momento.

Como posibles mejoras a futuro hay mecánicas/estéticas y electrónicas:

- Fabricar protecciones para el torno, por ejemplo para la transmisión por cuestiones de seguridad para los operarios. En la zona de soldadura cubrir tanto la mesa horizontal como el brazo vertical y la bancada del torno, para evitar que las chipas los dañen.
- Colocar más redundancia de sensado, para hacer el proyecto aún más robusto y al mismo tiempo lograr un mejor control de la máquina de soldar.
- Implementar un nuevo control para el variador de frecuencias, que sea a través del módulo RS-485. Este método además de ser muy utilizado industrialmente, permite un mayor y mejor monitoreo del variador desde el microcontrolador. Un ejemplo podría ser: incrementar la velocidad de giro husillo cuando la máquina no está soldando y así reducir los tiempos de fabricación de las piezas.
- Desarrollar la programación necesaria para la fabricación de las otras piezas y a su vez, hacer el programa principal más versátil por si surge la necesidad de fabricar piezas de distintas medidas.
- Cambiar la torcha actual por una refrigerada por agua, esto reduciría los tiempos muertos destinados al enfriado.

Capítulo 7: Literatura Citada.

- <https://www.ro-botica.com/Producto/RASPBERRY-PI-3-MODELO-B/>
- <https://hardzone.es/reviews/perifericos/analisis-raspberry-pi-3-modelo-b/>
- <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>
- http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOTOR_PaP_FINAL.pdf
- https://www.zuendo.com/smartblog/21_usos-del-variador-inversor-frecuencia.html
- <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- <https://www.areatecnologia.com/electricidad/motor-trifasico.html>
- <https://tercesa.com/noticias/los-reductores-velocidad/>
- <https://soldadoras.com.ar/soldadoras-mig/ventajas-desventajas-las-soldadoras-mig-mag/>
- <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/13783/FAUSTINI%20FRANCO%20GABRIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- https://wiki.qt.io/Qt_Creator/es
- <https://www.weg.net/institutional/BO/es/>
- <https://forum.arduino.cc/>
- <https://www.raspberrypi.org/>