



Construcción y acople de una pinza universal prototipo, para el robot industrial fanuc Arc mate 100i, utilizando un PLC en el control de la pinza y el robot, para aumentar el número de tareas del mismo.

Jhonny Alexander Metaute Pérez

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Asesor:

Álvaro Jaramillo Duque

Coasesor:

Andrés Fernando Pérez González

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniería Electrónica
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	Metaute Pérez [1]
Referencia	[1] J. Metaute Pérez, “Construcción y acople de una pinza universal prototipo, para el robot industrial fanuc Arc mate 100i, utilizando un PLC en el control de la pinza y el robot para aumentar el número de tareas del mismo”, Trabajo de grado profesional, ingeniería electrónica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Augusto Enrique Salazar Jiménez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a la Familia Pérez Guerra.

Agradecimientos

Agradecimientos al técnico de laboratorio Giovanni Vélez, al profesor Silvio Andrés Salazar Martínez, al Departamento de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	12
A. Objetivo general	12
B. Objetivos específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
A. Robot Industrial	13
B. Autómatas programables	15
C. Efecto Final	15
IV. METODOLOGÍA	18
A. Programación del Robot en ciclo automático	18
B. Selección de pinza Robótica de acuerdo a los objetivos	21
C. Estrategia de comunicación Robot y PLC	22
D. Construcción de cable de comunicación	26
E. Construcción del prototipo funcional de la Pinza Universal	28
F. Construcción del sistema neumático y electrónico de la pinza	31
G. Activar ciclo automático del Robot desde el PLC	38
H. Programación del robot y la nueva herramienta.	38
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
A. Pruebas con diferentes objetos	42
B. Análisis de los Resultados	47
VI. CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	52

LISTA DE TABLAS

TABLA I. DESCRIPCIÓN Y PESO DE LOS OBJETOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA	43
TABLA II. AGARRE Y TRASLADO DEL BLOQUE DE HIERRO	43
TABLA III. AGARRE Y TRASLADO DEL HUEVO	44
TABLA IV. AGARRE Y TRASLADO DEL CILINDRO DE ALUMINIO	45
TABLA V. AGARRE Y TRASLADO DEL RESORTE DE HIERRO	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de trabajo robot Fanuc.	14
Figura 2. Brazo robótico Arc Mate 100i de la marca FANUC.	14
Figura 3. Ilustración básica del comportamiento durante el agarre de la Pinza Universal.	17
Figura 4. Resumen de la Metodología.	18
Figura 5. Teach Pendant.	19
Figura 6. DEADMAN Switch.	19
Figura 7. Switch Enable/Disable.	20
Figura 8. Panel de operador.	20
Figura 9. Pinza Universal.	22
Figura 10. Ubicación de los puertos CRM2A y CRM2B en el controlador RJ2.	23
Figura 11. Distribución de los puertos CRM2A y CRM2B.	23
Figura 12. Distribución del puerto CRW1.	24
Figura 13. Interfaz del puerto CRW1.	25
Figura 14. Puerto CRW1.	25
Figura 15. Detalle de conexión, del puerto CRW1.	26
Figura 16. Conector Macho MS3108B28--21P.	27
Figura 17. Diseño 3D del conector Hembra MS3108B28--21P.	27
Figura 18. Conector construido mediante Impresión 3D.	28
Figura 19. Plano del Prototipo de la Pinza Universal.	29
Figura 20. Piezas de la Pinza en diseño 3D. a) Campana. b) Abrazadera. c) Soporte Rejilla.	30
Figura 21. Prototipo de la Pinza Universal.	31
Figura 22. Plano del sistema neumático.	32
Figura 23. Montaje de los actuadores neumáticos y el servomotor.	33
Figura 24. Plano del sistema eléctrico.	34
Figura 25. Gabinete eléctrico de protección del sistema.	35

Figura 26. Esquema lateral izquierdo del gabinete eléctrico de protección del sistema.	35
Figura 27. Programa en Ladder para el control del sistema.	36
Figura 28. Ruta para modificar las unidades de tiempo del PWM.	37
Figura 29. Salida para el control del Ciclo del Robot.	38
Figura 30. Programa en TPE para inicializar el sistema de la Pinza.	39
Figura 31. Programa en TPE para agarrar la pieza.	40
Figura 32. Programa en TPE para soltar la pieza.	40
Figura 33. Programa en TPE para agarrar y mover un objeto.	41
Figura 34. Robot Arc Mate 100i restaurado.	42

RESUMEN

Desde un punto de vista académico en la ingeniería electrónica, es indispensable contar con dispositivos para aprender, analizar y aplicar técnicas en el campo de la robótica industrial. El robot de la marca Fanuc y referencia Arc Mate 100i perteneciente a la Universidad de Antioquia, está diseñado específicamente para tareas de soldadura, por lo tanto, no puede ser considerado una herramienta de aprendizaje general en las distintas carreras y/o asignaturas interesadas en la programación de manipuladores o robots industriales.

Con este trabajo se logró otorgar versatilidad al robot mencionado, realizando la integración e incorporación del mismo con un Autómata programable o PLC y una pinza neumática en la articulación final respectivamente; obteniendo así, la capacidad de realizar tareas de sujeción y traslado de piezas dentro del área de trabajo del robot interconectado con un PLC, creando la posibilidad de futuras integraciones con herramientas industriales de múltiples funcionalidades.

Después de realizar los montajes descritos en este informe, el robot fué capaz de realizar tareas de sujeción y traslado de objetos con diferentes formas geométricas, texturas y pesos, que comprenden desde los 50 hasta los 2000 gramos; controlando las funciones básicas del Robot y las funciones de la pinza desde un PLC de la marca Mitsubishi.

***Palabras clave* — Robot Arc Mate 100i, PLC, área de trabajo del robot, herramientas industriales, Robots Industriales.**

ABSTRACT

From an academic point of view in electronic engineering, it is essential to have devices to learn, analyze and apply techniques in the field of industrial robotics. The robot of the Fanuc brand and reference Arc Mate 100i belonging to the University of Antioquia, is specifically designed for welding tasks, therefore, it cannot be considered a general learning tool in the different careers and/or subjects interested in programming of industrial machines and robots.

With this work it was possible to grant versatility to the mentioned robot, making the integrating and incorporating it with an industrial PLC controller and a pneumatic gripper in the final joint, respectively; thus obtaining the ability to perform tasks of clamping and moving parts within the work area of the robot in question; and to be interconnected with a PLC, creating the possibility of future integrations with industrial tools of multiple functionalities.

After performing the assemblies described in this report, the robot was able to perform tasks of gripping and transferring objects with different geometric shapes, textures and weights, ranging from 50 to 2000 grams; controlling the basic functions of the Robot and the functions of the gripper from a Mitsubishi brand PLC.

***Keywords* — Arc Mate 100i Robot, PLC, robot work area, industrial tools, Robots Industriales..**

I. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional y a la actual demanda del mercado, la población es testigo de la transformación digital del sector empresarial. Desde la primera revolución industrial en el siglo XVIII, el ser humano se ha enfrentado al desafío de producir más bienes e insumos a partir de recursos naturales limitados para satisfacer la demanda de consumo cada vez mayor, y limitar los impactos ambientales y sociales negativos. Sectores industriales y gobiernos, se están enfocando cada vez más en el tema y a la forma en que puede contribuir al desarrollo económico global, dado el éxito alcanzado por dicha revolución [1]. Es aquí donde la robótica juega un papel importante debido a las ventajas que aportan los robots a las industrias como: la confiabilidad, la precisión, la maniobrabilidad, integración y versatilidad; importantes en procesos complejos que requieren calidad, rapidez y gran esfuerzo para la elaboración de productos e insumos, dónde intervienen diversas máquinas y herramientas industriales. Ante esta situación, es indispensable contar con instrumentos de aprendizaje con respecto a la robótica industrial durante un proceso de formación académica en específico, tal que permita familiarizarse con el uso y funcionamiento de los mismos.

Con la finalidad de aumentar velocidad y versatilidad, el desarrollo de nuevas herramientas en los manipuladores finales de los robots, son fundamentales en los procesos que se requieren en la industria. Estos deben tener la capacidad de manipular de forma óptima, objetos con formas geométricas diversas, sin afectar la integridad de los mismos, durante el paso por la línea de montaje de un producto. Simultáneamente, dichos robots, deben de estar incorporados con las diversas herramientas que puedan existir dentro de la mencionada línea de montaje. Por consiguiente, la incorporación de un controlador industrial tipo PLC como elemento de intercomunicación, es clave si se quiere lograr la incorporación entre los elementos mencionados. Por lo tanto, la integración entre el PLC y el robot industrial, es un tema que se trató en dicho trabajo.

El Robot Arc Mate 100i de la marca FANUC dispuesto en el Laboratorio de Maquinados de la Universidad de Antioquia, presentaba inicialmente un gran inconveniente a la hora de

realizar funciones diferentes a las de soldar. Pues el robot, únicamente estaba configurado y diseñado para realizar tareas de esta índole, ya que para realizar un trabajo práctico de manipulación, hubiese sido complejo sin la herramienta adecuada. Dado el enfoque del robot, como dispositivo de prueba y aprendizaje en las distintas asignaturas interesadas en la robótica industrial; fue necesario la construcción de una nueva herramienta como efector final, que diera solución al inconveniente planteado. Para la construcción, se integró un autómata programable PLC, con el fin de realizar el control de la nueva herramienta y el control del ciclo automático del robot.

Un elemento manipulador de agarre adaptado como efector final al robot FANUC, otorga versatilidad al mismo. Dentro de las posibilidades encontramos pinzas mecánicas o universales y dispositivos biomiméticos. Estos últimos, son dispositivos que utilizan la solidificación por vacío de material granulado, dentro de una cavidad tipo vejiga en material elástico, que permite agarrar un objeto al rodear el contorno de la pieza y endurecer el material granulado[2]. Este tipo de dispositivo, tienen la particularidad de manipular objetos con formas geométricas y texturas diversas; a diferencia de las ventosas, sin causar daños a los mismos, debido a los efectos consecuentes por el agarre y la manipulación con las pinzas mecánicas. Además, la instalación de las pinzas universales ofrecen menor complejidad si requieren ser controladas electrónicamente con las señales digitales de un Robot industrial.

En este trabajo se logró la comunicación del controlador del Robot Arc Mate 100i y un PLC de la marca Mitsubishi, acción clave en el control de la nueva herramienta y en el control del ciclo de tareas realizadas por el Robot. De la misma forma, se presentó el proceso de construcción del prototipo funcional de la nueva herramienta final del robot, tipo pinza universal; con su respectivo sistema electroneumático y la forma como se llevó a cabo el acople con el controlador del Robot.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Construir y acoplar un mecanismo de pinza de agarre flexible, mediante el uso de impresión 3D, utilizando un sistema neumático y un PLC en la etapa de control del ciclo de trabajo del robot y del sistema del efector final, con el fin de incrementar el número de tareas que pueda llevar a cabo el robot Arc Mate 100i de la marca FANUC.

B. Objetivos específicos

- Diseñar mediante el software Inventor, la pinza de agarre flexible y construirla mediante el uso de impresión 3D, que permita realizar al menos una tarea al robot.
- Implementar un circuito neumático, con un generador de aire comprimido y vacío a partir de un compresor de nevera, tuberías, válvulas neumáticas, un servomotor y su respectivo sistema de refrigeración, controlados todos por un PLC.
- Desarrollar un programa en el PLC para el control del servo en el sistema neumático, con el fin de generar la conmutación entre vacío y presión de la pinza. Dicha conmutación permitirá agarrar y soltar un objeto respectivamente.
- Evaluar el sistema propuesto con la tarea de mover varios objetos, menores o iguales a 1 Kg de peso, de un punto A a un punto B, dentro del área de trabajo del robot.

III. MARCO TEÓRICO

A. Robot Industrial

Un robot industrial es una máquina programable para la manipulación de objetos y herramientas, dentro de una línea de ensamblaje. Dichas máquinas tienen la capacidad de obedecer trayectorias variables para ejecutar ciclos de tareas adaptadas en función de algún trabajo en específico. Dentro de las máquinas industriales encontramos: robots Cartesianos, los cuales se mueven en línea recta a lo largo de tres ejes lineales (x,y,z); robot Scara, que funciona con el mismo número de ejes que el cartesiano y pueden realizar un movimiento de rotación; el robot redundante cuenta con varias posturas para una misma posición; el robot de doble brazo, cuenta con dos brazos robóticos que trabajan juntos simultáneamente en una tarea determinada; y el robot de seis ejes, el cual es muy flexible gracias a las tres orientaciones que tiene su herramienta o pinza [3].

El brazo robótico Arc Mate 100i modelo M-6i pertenece a los robots de 6 ejes. Cuenta con una base, 5 eslabones y 6 articulaciones que permiten por lo tanto tener 6 grados de libertad, con un peso de 190 kg. Es un robot robusto cuya carga útil es de 6 kg, capaz de alcanzar una altura de 1.85 metros y una longitud horizontal máxima de 1.36 metros [4]. En la **Figura 1**, se muestra una vista lateral y superior del área de trabajo del robot, donde podemos detallar su alcance. En la **Figura 2** se muestra el robot Arc Mate 100i en el cual, se realizó el trabajo que se describe.

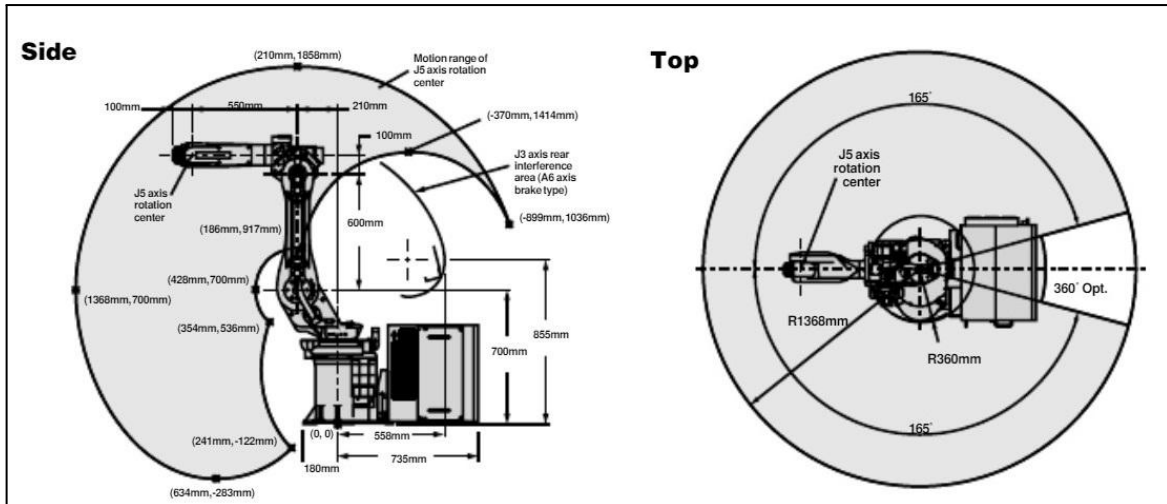


Figura 1. Área de trabajo robot Fanuc [5].



Figura 2. Brazo robótico Arc Mate 100i de la marca FANUC.

El robot posee un controlador con referencia R-J2, el cual contiene la cinemática y control del robot. Alberga el software de aplicación Handling Tool, controla el Teach Pendant y los dispositivos del panel del operador, y proporciona las conexiones necesarias para otros dispositivos externos, como la pinza neumática [5].

El panel de control y el Teach Pendant, son los elementos encargados de generar la interacción entre el programador y el controlador del robot; pues el panel de control contiene los pulsadores que se encargan de encender y apagar el robot, cambiar la configuración Remote y Local, mientras que el Teach Pendant es la interfaz entre el robot y el programador u operario.

B. Autómatas programables

Un Autómata programable, más conocido como PLC (Programmable Logic Controller) debido a sus siglas en inglés, es básicamente un controlador que se utiliza en la automatización de procesos. Debido a su confiabilidad y fácil adaptación al ambiente industrial, es clave en el control de la maquinaria dentro de una fábrica o de procesos industriales que intervienen dentro de la elaboración o tratamiento de un producto en específico. Los PLCs son dispositivos electrónicos de fácil programación que se pueden adaptar a las necesidades de una compañía o fábrica, sobre todo en las líneas de producción. También se le conoce como cerebro electrónico, encargado de accionar elementos eléctricos o mecánicos o la combinación de ambos. Actualmente se usan para aplicaciones industriales, domésticas y comerciales[6].

El PLC Mitsubishi Fx5u-32mt/ess, es un autómata programable que pertenece a la marca que lleva por nombre (Mitsubishi); es un PLC que cuenta con 16 entradas tipo Sink-Source con nivel lógico de 0 voltios ó 24 voltios y 16 salidas tipo Relay-Transistor [7]. Tales características son suficientes para realizar la comunicación digital con el controlador de un Robot industrial. Se puede programar en Lenguaje Ladder, a través de Ethernet RS485 desde un computador, mediante el software GX Works 3.

C. Efecto Final

El efecto final, es el dispositivo o herramienta que está instalado al final de la cadena cinemática del robot o en último eslabón del brazo. Es el elemento que está en interacción con los productos en una línea de montaje, para su correcta manipulación. Estos elementos, son utilizados en la industria, para llevar a cabo labores de organización, transporte, selección, etc; las cuales varían de acuerdo a las necesidades requeridas [9]. Podemos diferenciarlas por su sistema de

accionamiento; como lo son las pinzas neumáticas, que requieren poca energía, y que además son rápidas y funcionan con un controlador lógico programable (PLC); esta es la opción más recomendable para empresas de manufactura. Por otra parte, las pinzas de accionamiento hidráulico son de gran durabilidad, además permiten trabajar con cargas de gran peso y tamaño, funcionan con líneas hidráulicas, bombas, válvulas y PLC. Por último, las pinzas de accionamiento eléctrico, las cuales son más económicas, tienen un mantenimiento menos complejo pero presentan menor fuerza en el agarre de objetos y requiere electricidad constante para permanecer en una posición en específico [12].

Así mismo, existen ventosas, pinzas biomiméticas y mecánicas, siendo estas las más comunes. Su función principal consiste en succionar objetos planos para levantarlos aplicando vacío. También existen otro tipo de pinzas llamadas universales, las cuales tienen un funcionamiento similar a las ventosas [13]. Estas pinzas son dispositivo de agarre flexible que tras la aplicación de un vacío al material granular dentro de una cavidad elástica, se contrae y se endurece rápidamente para sostener un objeto, sin requerir retroalimentación sensorial, pues se garantiza el agarre dada la solidificación del material al contorno de la pieza.

Estos dispositivos están dispuestos de una carcasa polimérica tipo cono, la cual tiene adaptado un globo en material elástico en su base, y un acople neumático que permite crear una cámara de aire y vacío en dicho elemento elástico. El interior del globo está lleno parcialmente por un material granulado que permite recubrir y bordear la superficie de los objetos que se quieren manipular, esto se logra al crear una pequeña cámara de aire para que el material granulado se descomprima antes de la etapa de succión. El agarre de esta pinza, depende de la capacidad del material granulado para endurecerse dentro del globo al aplicar vacío, adaptándose rígidamente al contorno del objeto a manipular [8].

La **Figura 3**, ilustra mediante un diagrama básico, el comportamiento de la pinza durante el agarre de una pieza en específico.

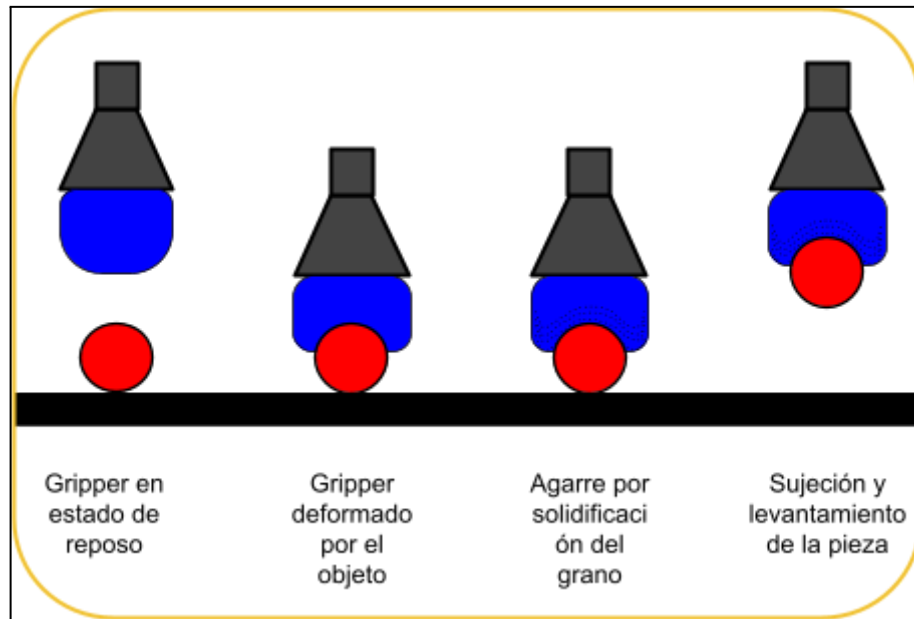


Figura 3. Ilustración básica del comportamiento durante el agarre de la Pinza Universal. Fuente propia.

IV. METODOLOGÍA

En la **Figura 4**, se presenta un resumen con las actividades realizadas para la construcción del sistema en general de la Pinza Universal, con el fin de cumplir los objetivos planteados en dicho trabajo.

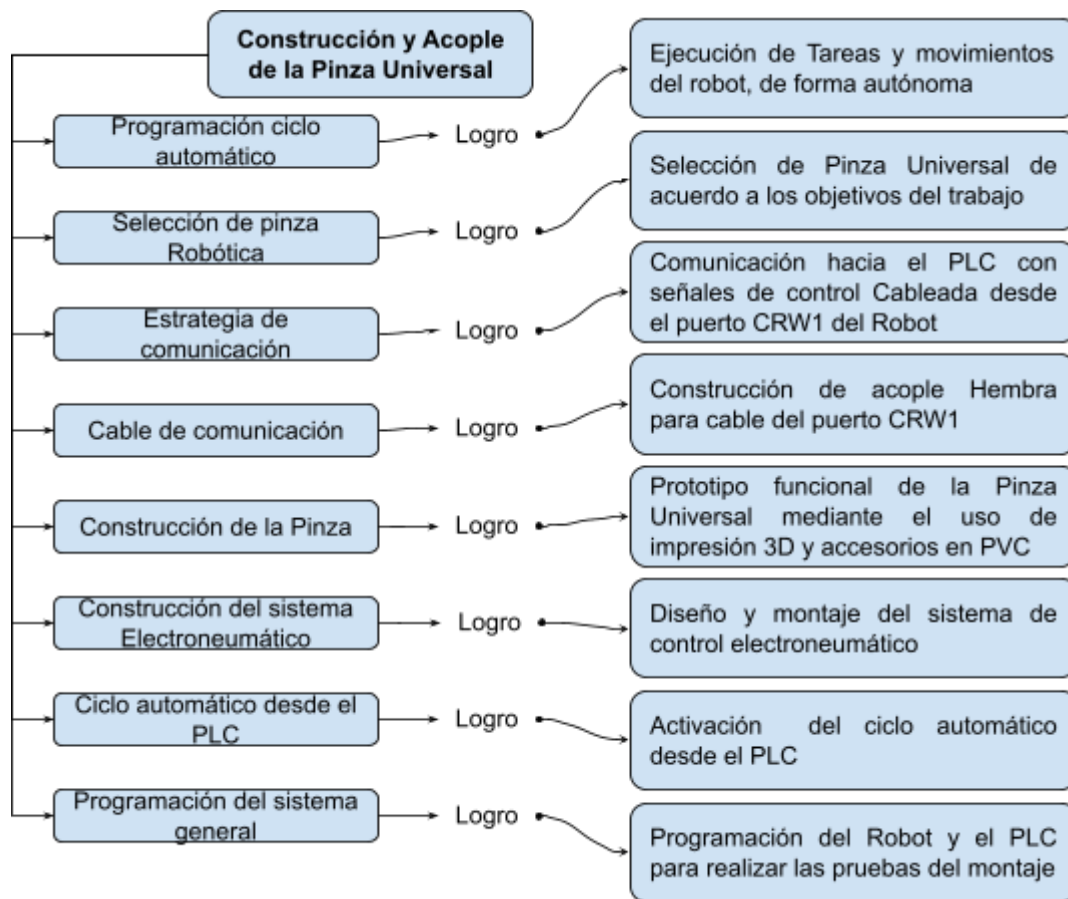


Figura 4. Resumen de la Metodología.

A. Programación del Robot en ciclo automático

El robot Fanuc y su controlador RJ2, tienen dos modos básicos de operación, el modo Remoto y el modo Local. En el modo Remoto, el robot solamente puede ejecutar acciones por medio del Pendant (**Figura 5**). Es decir, si se necesita que el robot ejecute una secuencia de tareas de un programa de manera continua, es necesario que el operario esté presionando el switch

DEADMAN (**Figura 6**), ubicado en la parte posterior del Teach Pendant, durante toda la ejecución de la tarea; mientras que en el modo Local, no es necesario presionar el switch DEADMAN durante la ejecución del programa, realizándose las tareas indefinidamente después de presionar el botón de CYCLE START en el panel de control [5].

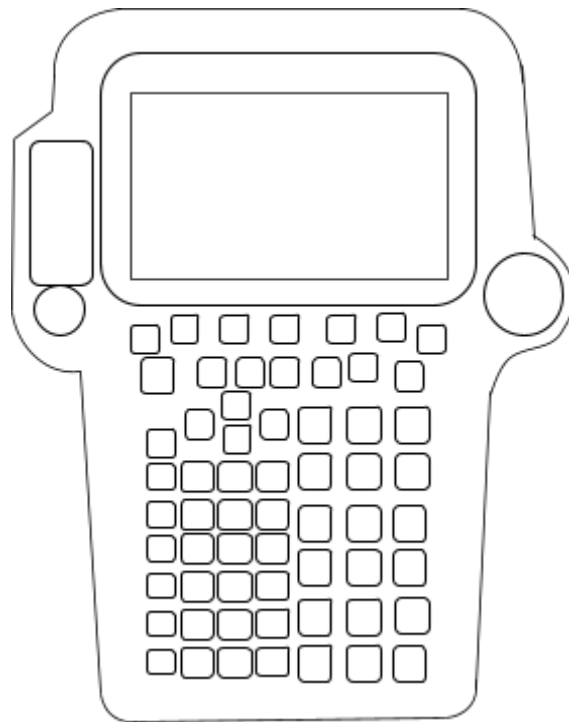


Figura 5. Teach Pendant. Fuente propia.

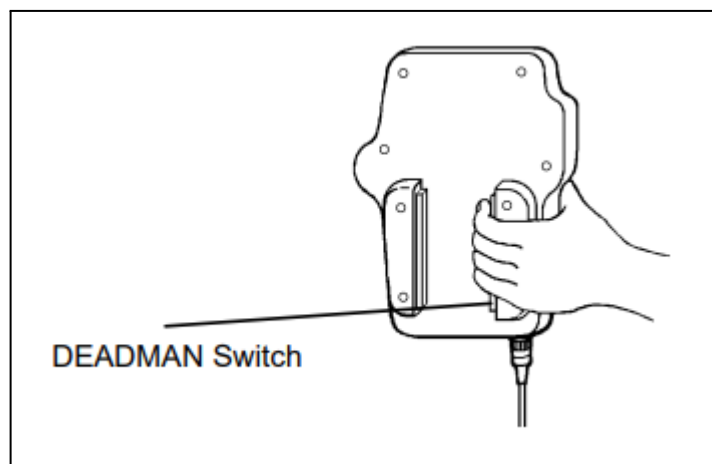


Figura 6. DEADMAN Switch [5].

Esta configuración es clave para que el robot pueda cumplir sus funciones con la mínima intervención del operario durante la línea de montaje. Para la elaboración de este trabajo, fue necesario configurar el robot en este modo. Con el fin de poder realizar el acople del robot con el PLC y el Gripper Universal, durante la ejecución de una secuencia de tareas, bajo condiciones normales de trabajo del robot. El Switch Enable/Disable de la **Figura 7** y el botón CYCLE START de la **Figura 8** son claves para activar la configuración descrita, dicho procedimiento se encuentra en el manual de la referencia [5].

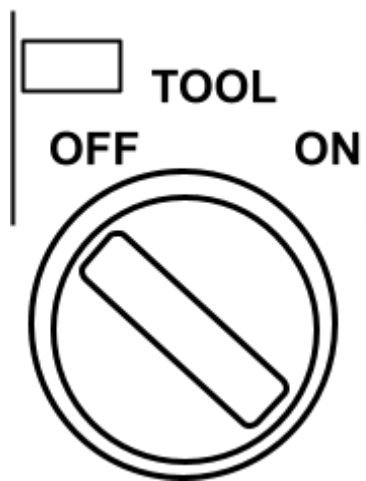


Figura 7. Switch Enable/Disable. Fuente propia.

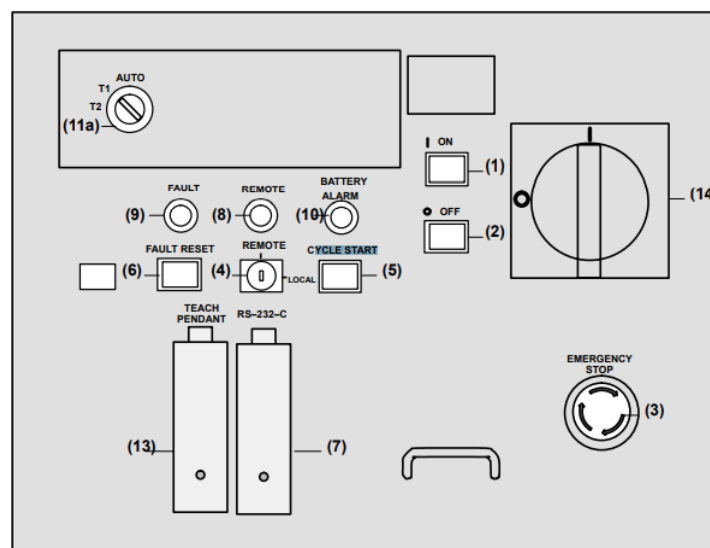


Figura 8. Panel de operador [5].

Después de un trabajo de reparación, se suprimió la función del Remote Switch sin afectar los dos modos de operación básica del robot: Local y Remoto, con el fin de recuperar el modo de operación “Local”, debido a que el Switch no estaba en óptimas condiciones de trabajo y para retornar al modo Remoto, basta con habilitar nuevamente el Pendant desde el switch Enable/Disable de la **Figura 7**.

B. Selección de pinza Robótica de acuerdo a los objetivos

Debido a que el Robot Arc Mate 100i modelo M-6, está configurado desde fábrica para hacer tareas de soldadura, no se tenía la suficiente versatilidad de la máquina para ser utilizada como un dispositivo de prueba y laboratorio en el área de la robótica industrial. Con el fin de incrementar el número de tareas que pueda llevar a cabo el Robot, se creó un prototipo de manipulador para el robot FANUC, que permite desarrollar tareas dentro de los rangos permitidos, sea área de trabajo como carga máxima efectiva soportada por el robot. Para esto, fue necesario una pinza que cumpla con las características de maniobrabilidad, donde la posición del objeto y su forma no sean una prioridad. Por lo tanto, se desarrolló una pinza universal como efector final del robot industrial, la cual está accionada junto al controlador del robot mediante un PLC que se programó para ejecutar las tareas de manipulación requeridas.

El prototipado de la nueva herramienta, se basó en el trabajo realizado por la Universidad de Chicago, la Universidad de Cornell y la empresa Irobot. Donde se construyó una Pinza Universal y la acoplaron al Robot A465 de la marca CRS. La carcasa del modelo está construida mediante impresión 3D, de material plástico fotocurable; para la parte flexible de la Pinza Universal, se utilizó una membrana de goma y como material granulado, utilizaron granos de café molido dadas sus ventajas y propiedades [8]. En la **Figura 9**, se muestra la Pinza Universal construida en dicho trabajo.

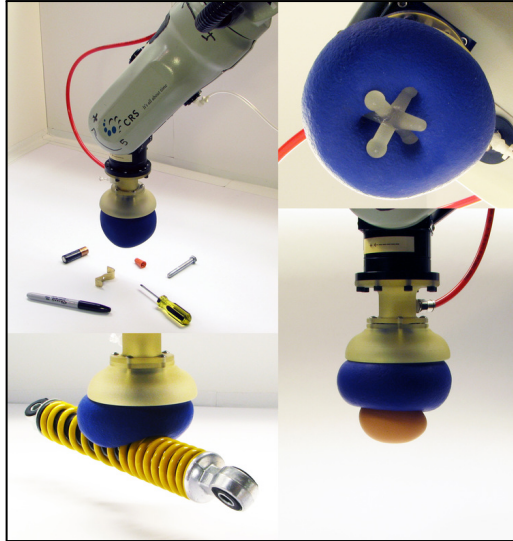


Figura 9. Pinza Universal [9].

Dados los objetivos planteados y el enfoque que se tiene previsto para el Robot, se seleccionó la pinza Universal como prototipo de la nueva herramienta o efector final.

C. Estrategia de comunicación Robot y PLC

Por lo general, las celdas industriales de la marca FANUC, utilizan protocolos de comunicación Ethernet para integrar controladores, sensores, herramientas y robots durante un proceso industrial en específico [10]. El controlador RJ2 de la misma marca, dentro del conjunto de periféricos en la tarjeta IO process, no contiene el puerto para el protocolo de comunicación Ethernet [5]. Por lo tanto, la comunicación entre el Robot y el PLC, se realizó a través de puertos digitales y no a través de comunicación Ethernet, como generalmente se hace.

Las características del PLC que se utilizó para el trabajo, ofrecen mayor facilidad para una comunicación basada en señales de control cableada (Hard-wired connections) con el controlador RJ2 del robot, pues el PLC tiene 16 entradas digitales disponibles para tal fin. El controlador RJ2, cuenta con puertos especiales para realizar comunicación con dispositivos externos, en este caso el PLC. Los puertos CRM2A y CRM2B del Rack PROCESS I/O BOARD, por lo general se utilizan para realizar la comunicación digital con dichos dispositivos externos [5]. La **Figura 10**, muestra

la ubicación de los puertos y en la **Figura 11**, se muestra la distribución de los pines de cada puerto.

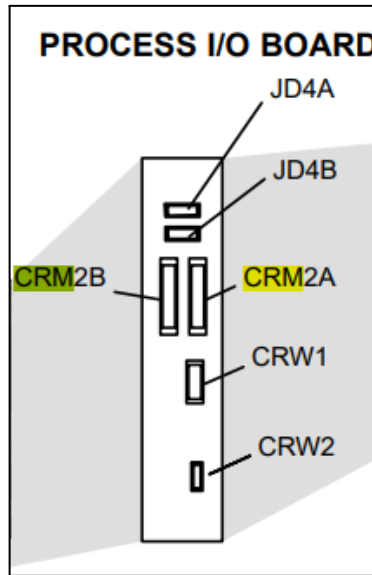


Figura 10. Ubicación de los puertos CRM2A y CRM2B en el controlador RJ2 [5].

1	*IMSTP		33	CMDENBL	1	SDI03		33	SDO01		
2	*HOLD		34	SYSRDY	2	SDI04		34	SDO02		
3	*SFSPD	19	ACK3/SNO3	35	PROCRUN	3	SDI05	19	SDO13	35	SDO03
4	CSTOP1	20	ACK4/SNO4	36	PAUSED	4	SDI06	20	SDO14	36	SDO04
5	FAULT RESET	21	ACK5/SNO5	37	COM-A1	5	SDI07	21	SDO15	37	COM-B1
6	START	22	ACK6/SNO6	38	HELD	6	SDI08	22	SDO16	38	SDO05
7	HOME	23	COM-A4	39	FAULT	7	SDI09	23	COM-B4	39	SDO06
8	ENBL	24	ACK7/SNO7	40	ATPEACH	8	SDI10	24	SDO17	40	SDO07
9	RSR1/PNS1	25	ACK8/SNO8	41	TPENBL	9	SDI11	25	SDO18	41	SDO08
10	RSR2/PNS2	26	SNACK	42	COM-A2	10	SDI12	26	SDO19	42	COM-B2
11	RSR3/PNS3	27	RESERVED	43	BATALM	11	SDI13	27	SDO20	43	SDO09
12	RSR4/PNS4	28	COM-A5	44	BUSY	12	SDI14	28	COM-B5	44	SDO10
13	RSR5/PNS5	29	PNSTROBE	45	ACK1/SNO1	13	SDI15	29	SDI19	45	SDO11
14	RSR6/PNS6	30	PAOD START	46	ACK2/SNO2	14	SDI16	30	SDI20	46	SDO12
15	RSR7/PNS7	31	SDI01	47	COM-A3	15	SDI17	31	SDI21	47	
16	RSR8/PNS8	32	SDI02	48		16	SDI18	32	SDI22	48	
17	0V			49	24V	17	0V			49	24V
18	0V			50	24V	18	0V			50	24V

Figura 11. Distribución de los puertos CRM2A y CRM2B [11].

El robot Arc mate 100i m-6 y el controlador RJ2 FANUC, donado a la Universidad de Antioquia, en el cual se realizó el trabajo, no tiene habilitado los puertos de comunicación (CRM2A y CRM2B). Por lo tanto, fue necesario disponer de otra estrategia para realizar la integración entre el robot, el PLC y la nueva pinza. Es aquí donde el puerto destinado para realizar

la comunicación con el equipo de soldadura o herramienta, llamado CRW1, juega el papel de puerto de comunicación hacia el PLC; pues este puerto dispone de 8 entradas y 8 salidas digitales, donde el nivel lógico está dado en 0 voltios y 24 voltios. Dichas entradas y salidas están habilitadas para interactuar con el PLC durante la ejecución de un programa o tarea del robot.

En la **Figura 10**, podemos observar también la ubicación del puerto en el Rack PROCESS I/O BOARD y en la **Figura 12**, se muestra la distribución de los puertos, donde **WDI[n]** corresponde a las entradas digitales y **WDO[n]** a las salidas, con **n** desde **1** hasta **8**.

01	DACH1			23	WDO1
02	COMAD1	13	ADCH1	24	WDO2
03	DACH2	14	COMAD1	25	WDO3
04	COMAD2	15	ADCH2	26	WDO4
05	WDI1	16	COMAD2	27	WDO5
06	WDI2	17		28	WDO6
07	WDI3	18		29	WDO7
08	WDI4	19	0V	30	WDO8
09	WDI5	20	0V	31	WDO+
10	WDI6	21	0V	32	WDO-
11	WDI7	22	0V	33	+24V
12	WDI8			34	+24V

Figura 12. Distribución del puerto CRW1 [11].

En la **Figura 13**, se muestra la interfaz de salida del puerto CRW1 y en la **Figura 14**, se muestra el tipo de conector en el Rack PROCESS I/O BOARD.

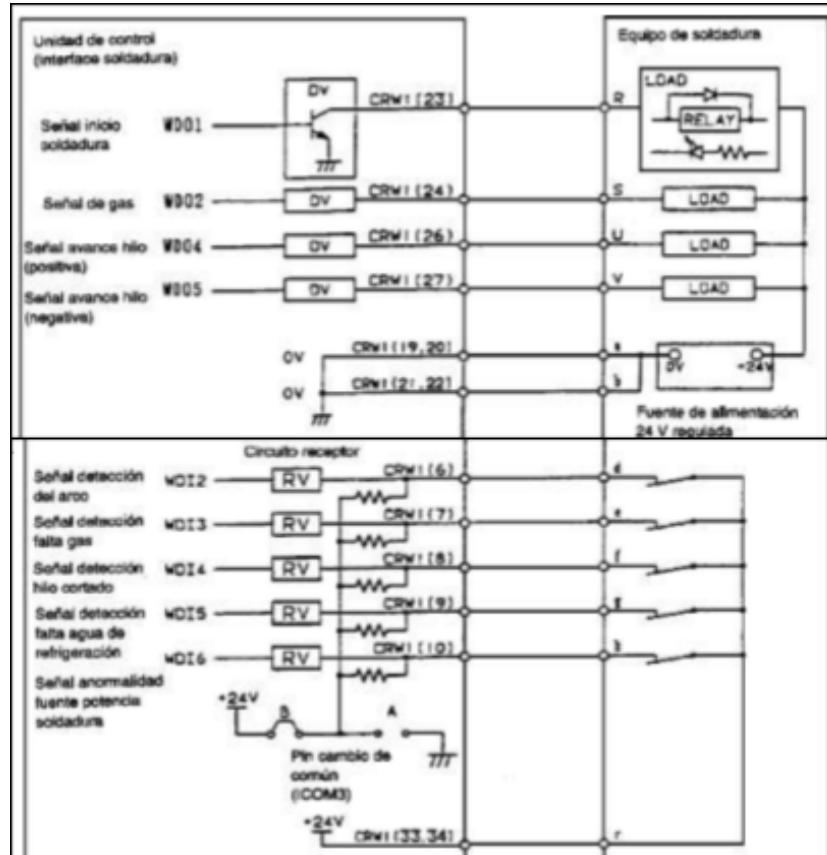


Figura 13. Interfaz del puerto CRW1 [11].

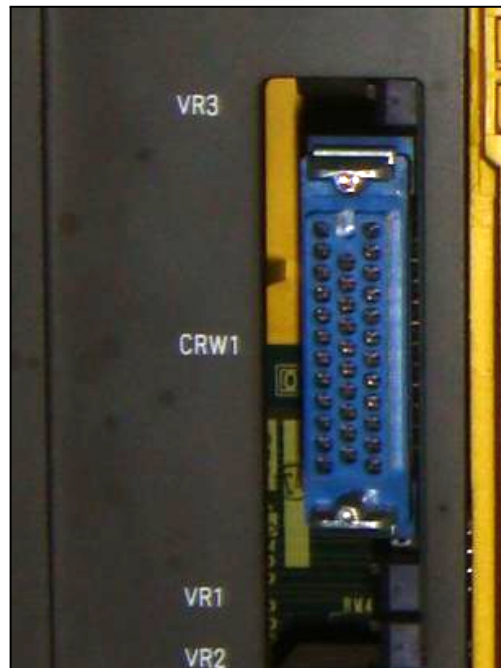


Figura 14. Puerto CRW1. Fuente propia.

Con el fin de realizar el control de la pinza, se seleccionaron los puertos de salida **WDO[4]**, **WDO[5]** y **WDO[6]** y el puerto de entrada **WDI[5]**. Los cuales estarán en constante interacción con el periférico externo, generando así, la integración entre el robot y el autómatas programable o PLC. El puerto **WDO[6]**, se encarga de indicarle al sistema de la pinza (PLC y sistema electropneumático), que active el generador de vacío y su respectivo sistema de refrigeración. Los puertos **WDO[4]** y **WDO[5]**, se encargan de indicarle al sistema: las acciones de agarrar y soltar de la pinza, respectivamente. El puerto **WDI[5]** es una señal que se utiliza para que el sistema de la pinza le indique al robot que el agarre total de la pieza se generó y proceda a continuar con sus movimientos programados.

D. Construcción de cable de comunicación

Debido a que la comunicación se realizará por el puerto CRW1, fue indispensable crear un conector hembra mediante el uso de impresión 3D, para acoplar el cable de dicho puerto al montaje del sistema de la pinza. En la **Figura 15**, se observa la conexión del puerto y su respectivo cable.

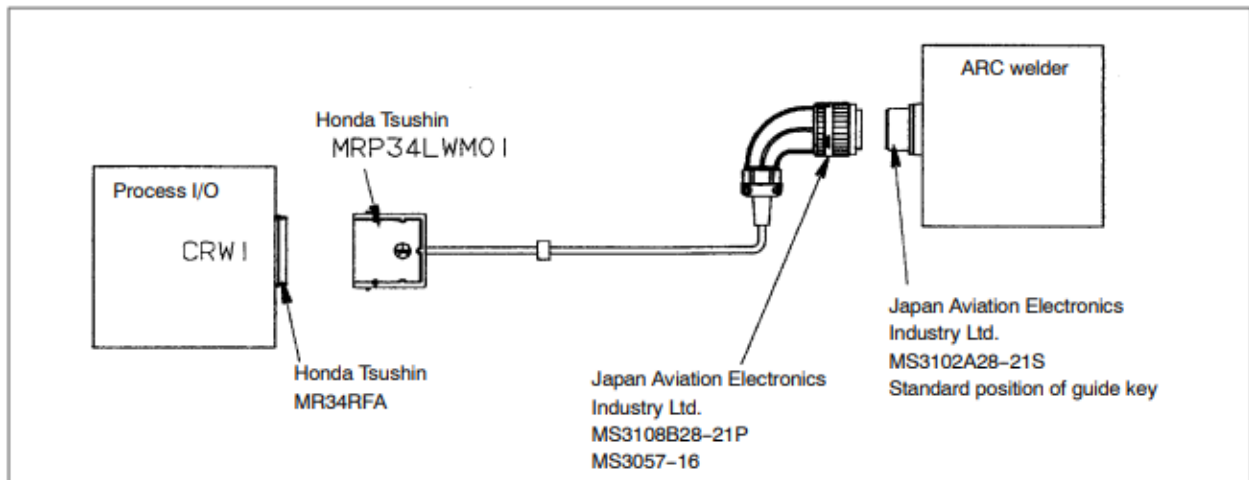


Figura 15. Detalle de conexión del puerto CRW1 [11].

En el trabajo realizado, el elemento en la **Figura 15** llamado “ARC welder”, se reemplazó por el sistema de control de la pinza. Por lo tanto, el conector hembra se construyó para el conector MS3108B28--21P. En la **Figura 16**, se tiene una vista detallada de la terminal macho de dicho conector.



Figura 16. Conector Macho MS3108B28--21P.

La **Figura 17**, contiene el diseño 3D mediante el software Inventor del conector Hembra.

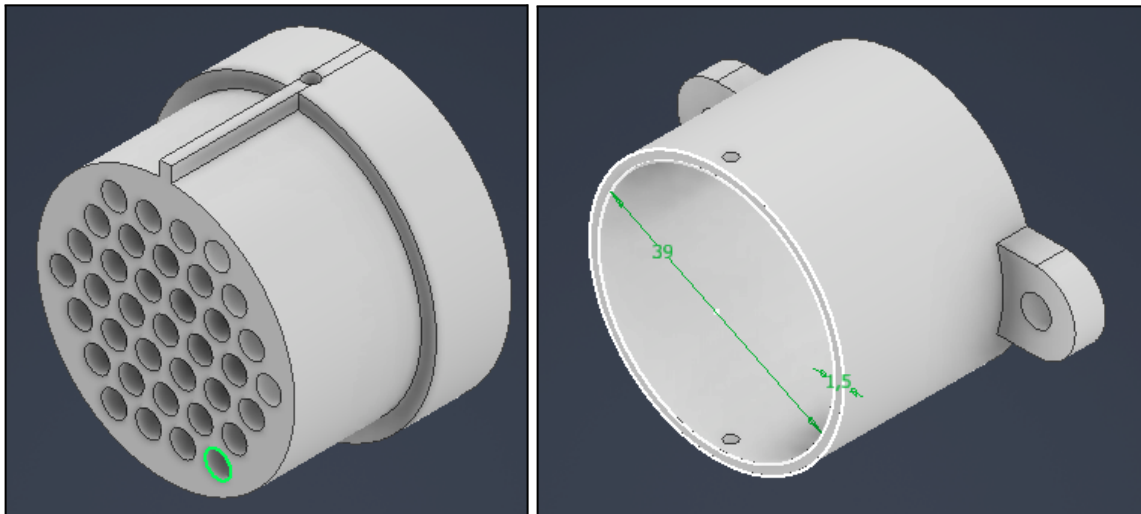


Figura 17. Diseño 3D del conector Hembra MS3108B28--21P.

De acuerdo a la **Figura 13**, para activar las cargas desde el puerto **CRW1**, que en este caso son optoacopladores de 24 voltios, es necesario utilizar los Pines de los puertos **WDO[4]**, **WDO[5]**, **WDO[6]** y los **24V** del puerto y para activar la entrada **WDI[5]**, se conecta el Pin de dicha entrada con una resistencia de 1 K Ω en serie al Pin de **GND** del puerto CRW1. En la **Figura 18**, se observa el conector hembra MS3108B28--21P con sus respectivos pines.

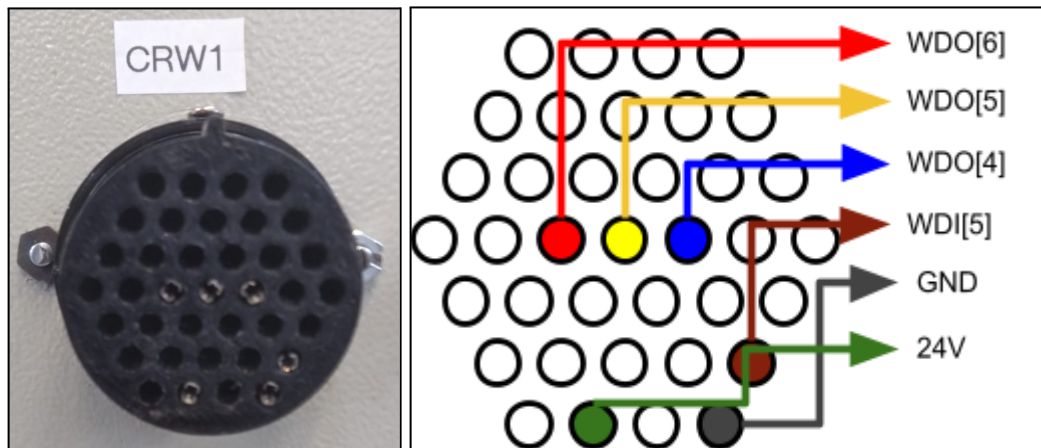


Figura 18. Conector construido mediante Impresión 3D.

E. Construcción del prototipo funcional de la Pinza Universal

El prototipo de la Pinza Universal fué construido a partir de un Globo de Látex tamaño R-24, que cumple el papel de membrana elástica; granos de café molido, como material granulado; elementos de tubería de PVC y un racor para manguera de 6 milímetros, como acople con el suministro de aire y vacío; una rejilla en tela metálica para evitar fuga de material granulado y una carcasa en plástico (PLA) para el soporte de toda la pinza. La **Figura 19**, contiene el plano de una vista transversal de la pinza.

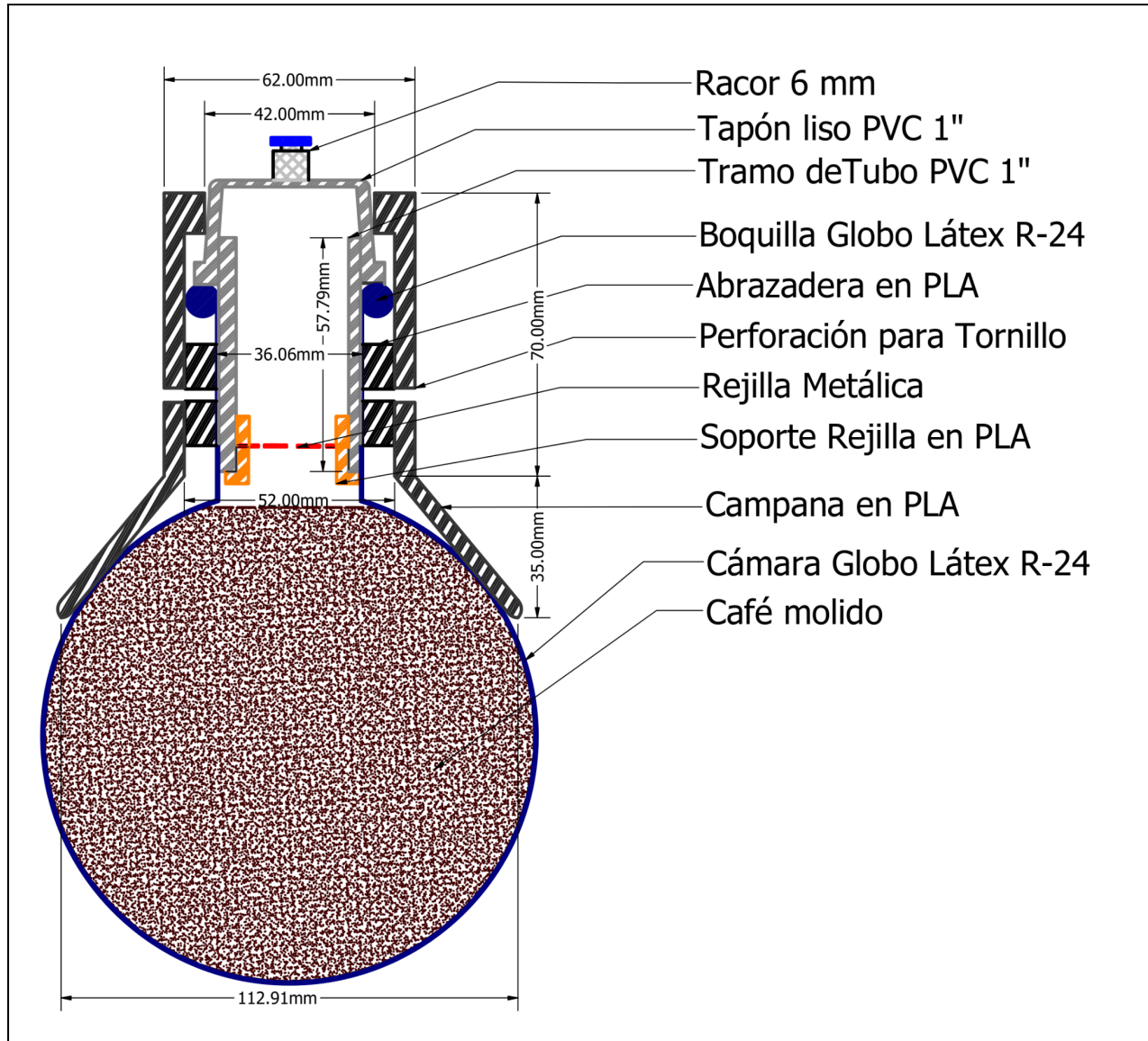


Figura 19. Plano del Prototipo de la Pinza Universal. Fuente propia.

La **Figura 20.a** corresponde al diseño 3D de la carcasa tipo campana de la Pinza Universal. La **Figura 20.b** corresponde al diseño de la abrazadera plástica y es la encargada de generar el ensamble hermético del cuello del globo con el tramo del tubo de PVC de 1 pulgada de diámetro y de generar el acople con la carcasa tipo campana. La **Figura 20.c** es el soporte que se encarga de ensamblar la rejilla metálica de bloqueo al tramo de tubo de PVC. Los elementos anteriores incluyendo la campana, están contruidos mediante impresión 3D en material PLA.

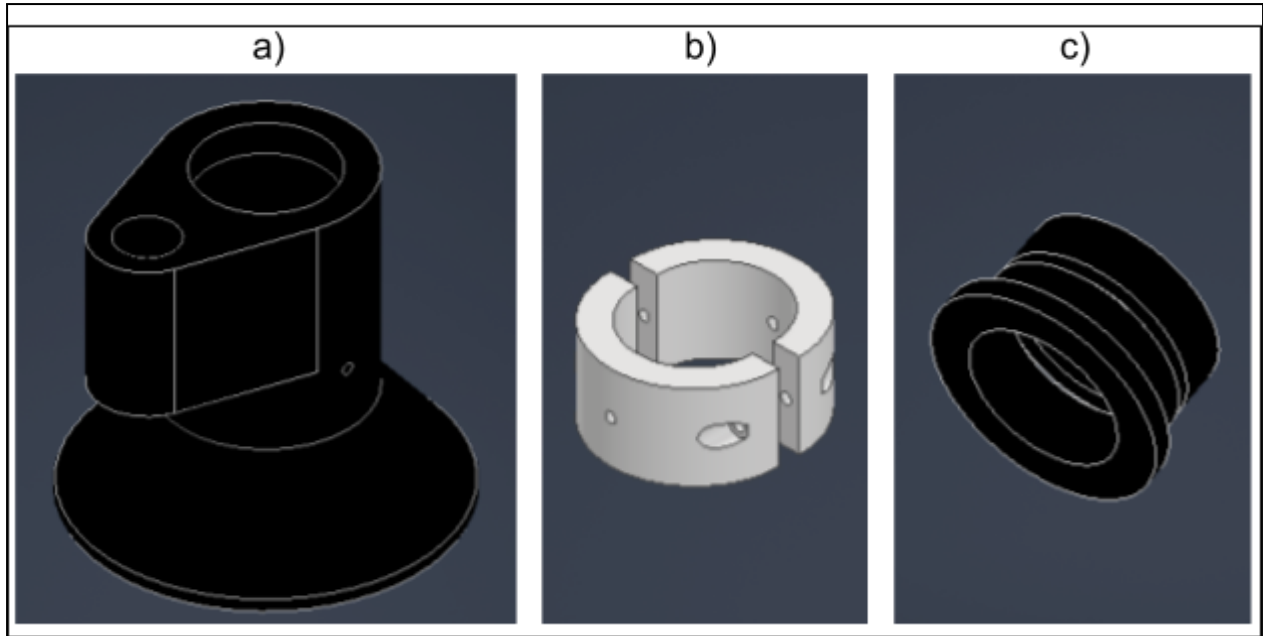


Figura 20. Piezas de la Pinza en diseño 3D. a) Campana. b) Abrazadera. c) Soporte Rejilla.

La campana, además de ser el soporte de la parte funcional de la pinza, es necesaria para realizar una mejor distribución de la fuerza, durante la deformación del grano al presionar la herramienta con el objeto a manipular. Esta pieza, es también la encargada del acople con la última articulación del Robot Arc Mate 100i. El soporte de rejilla está diseñado con el fin de acoplar la rejilla con el tubo de PVC, dicha rejilla impide la devolución de los granos de café hacia el conducto de suministro del sistema neumático. Para la conexión de la pinza, con su respectivo sistema neumático, fue necesario utilizar una manguera de teflón de 6 milímetros de diámetro, con una longitud de 4 metros; esta manguera se conecta al racor de la pinza y a las válvulas en el sistema neumático. La **Figura 21**, contiene el ensamble completo de la pinza y el acople con el robot.



Figura 21. Prototipo de la Pinza Universal construida.

F. Construcción del sistema neumático y electrónico de la pinza

Dadas las herramientas disponibles en la Universidad de Antioquia para este trabajo, en la construcción del sistema neumático, se utilizaron dos actuadores tipo final de carrera, encargados de conmutar el suministro de presión y vacío hacia la pinza. Este suministro es generado por un motor de nevera. El plano de la **Figura 22**, corresponde al plano de dicho sistema neumático.

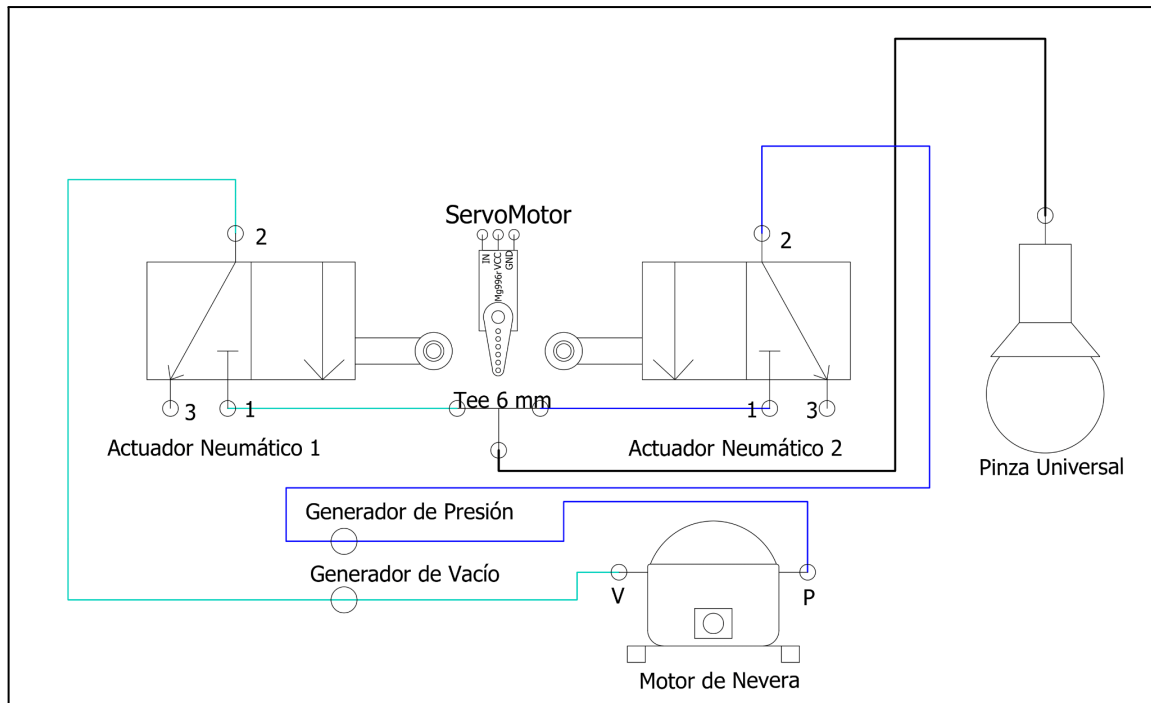


Figura 22. Plano del sistema neumático.

Dicho plano está compuesto por dos actuadores neumáticos tipo final de carrera, un motor de nevera encargado de generar vacío y presión simultáneamente, un acople tipo Tee para manguera de 6 mm y un Servomotor Mg996r. El suministro de vacío y presión, por medio de una manguera de 6mm de teflón, van conectados al puerto **2** del **Actuador Neumático 1** y **Actuador Neumático 2** respectivamente. El puerto **1** de cada actuador está unido a la Pinza Universal por medio de la Tee de 6 mm y manguera de teflón del mismo diámetro.

Los actuadores neumáticos son accionados mecánicamente por un Servomotor Mg996r conectado directamente al PLC Mitsubishi Fx5u-32mt/ess. La **Figura 23**, muestra el montaje del sistema compuesto por los dos actuadores neumáticos y el servomotor.

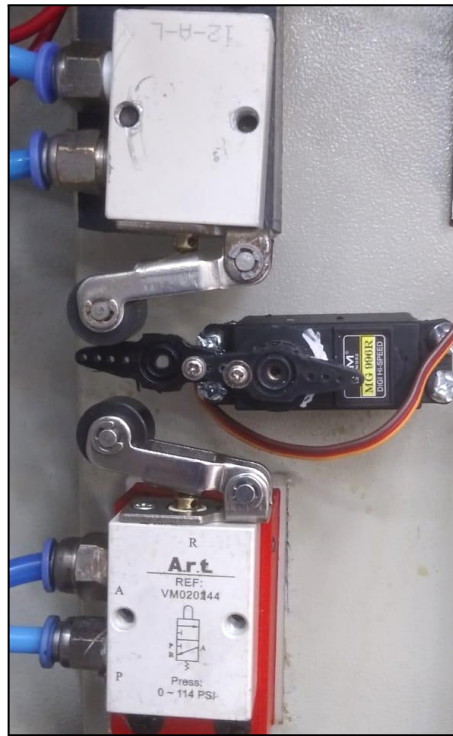


Figura 23. Montaje de los actuadores neumáticos y el servomotor.

Tanto el movimiento del Servomotor Mg996r como el encendido del compresor, están controlados directamente por el sistema electrónico de la **Figura 24**. El sistema electrónico está en constante comunicación con el controlador del Robot, con el fin de que las acciones de la pinza, estén acorde a las órdenes y movimientos en el Robot FANUC.

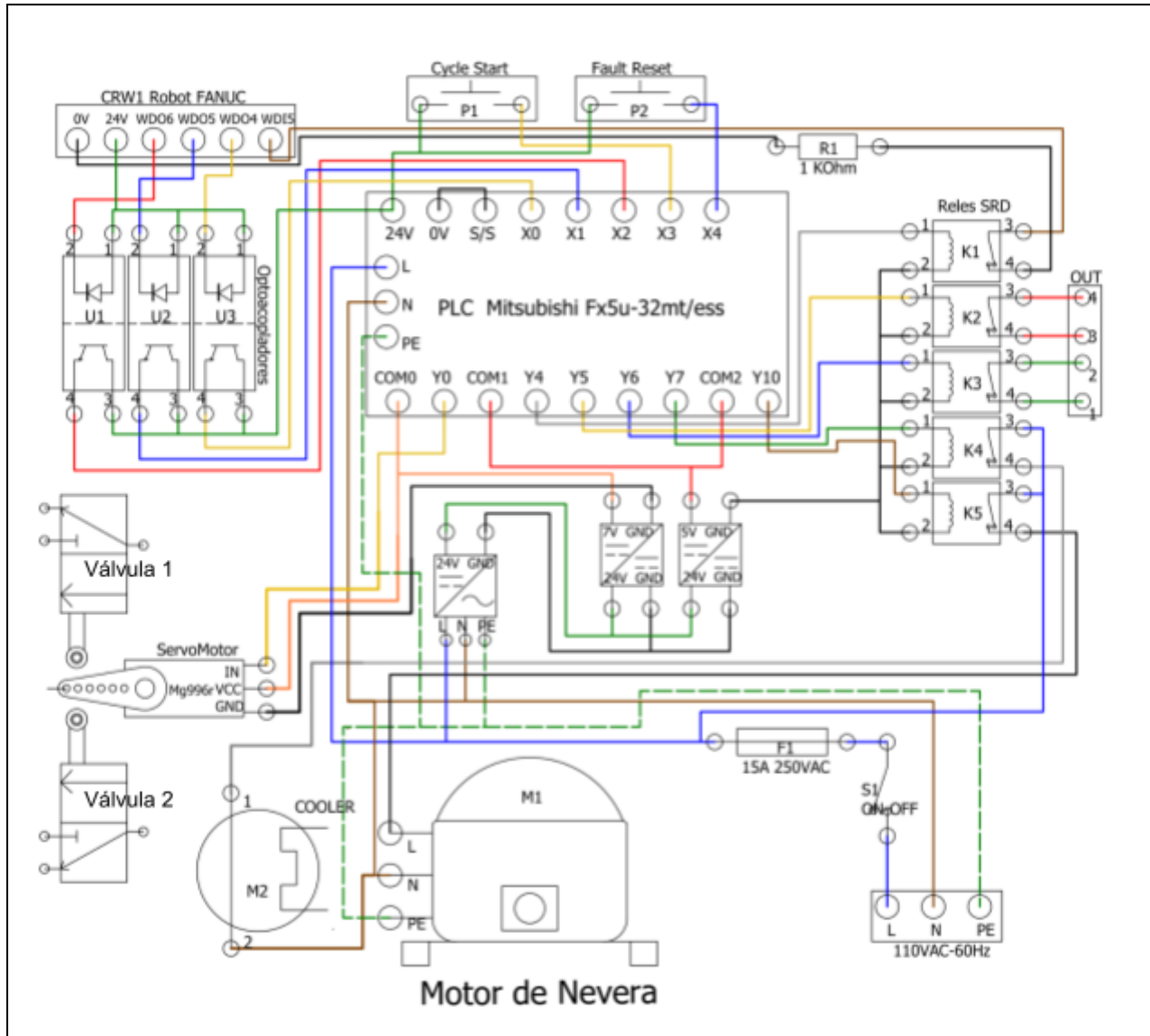


Figura 24. Plano del sistema electrónico. Fuente propia.

El sistema de la **Figura 24**, está instalado en un gabinete metálico de protección IP 65; la **Figura 25** contiene el esquema frontal y la **Figura 26** contiene el esquema lateral izquierdo de dicho gabinete.

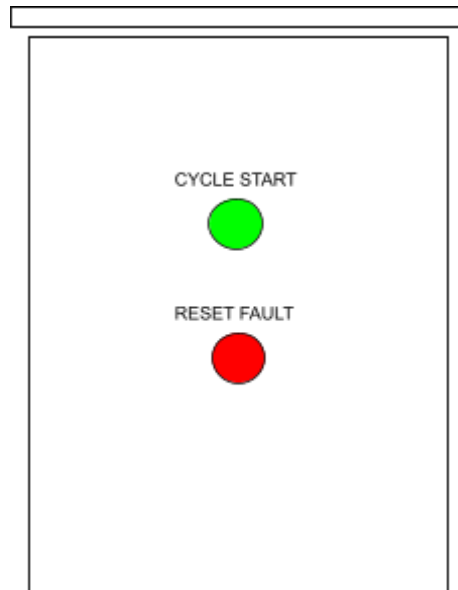


Figura 25. Esquema frontal del gabinete eléctrico de protección del sistema.

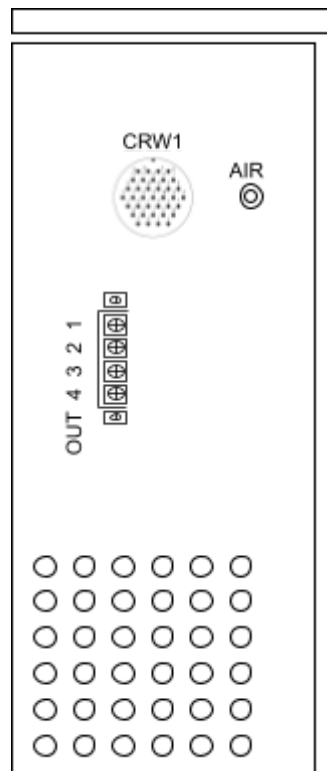


Figura 26. Esquema lateral izquierdo del gabinete eléctrico de protección del sistema.

Los pulsadores dispuestos en la parte frontal del gabinete eléctrico, **Figura 25**, son los encargados de iniciar el ciclo de trabajo desde el PLC. A continuación, en la **Figura 27**, se muestra el programa encargado de las acciones del PLC en el Software GX Works 3.

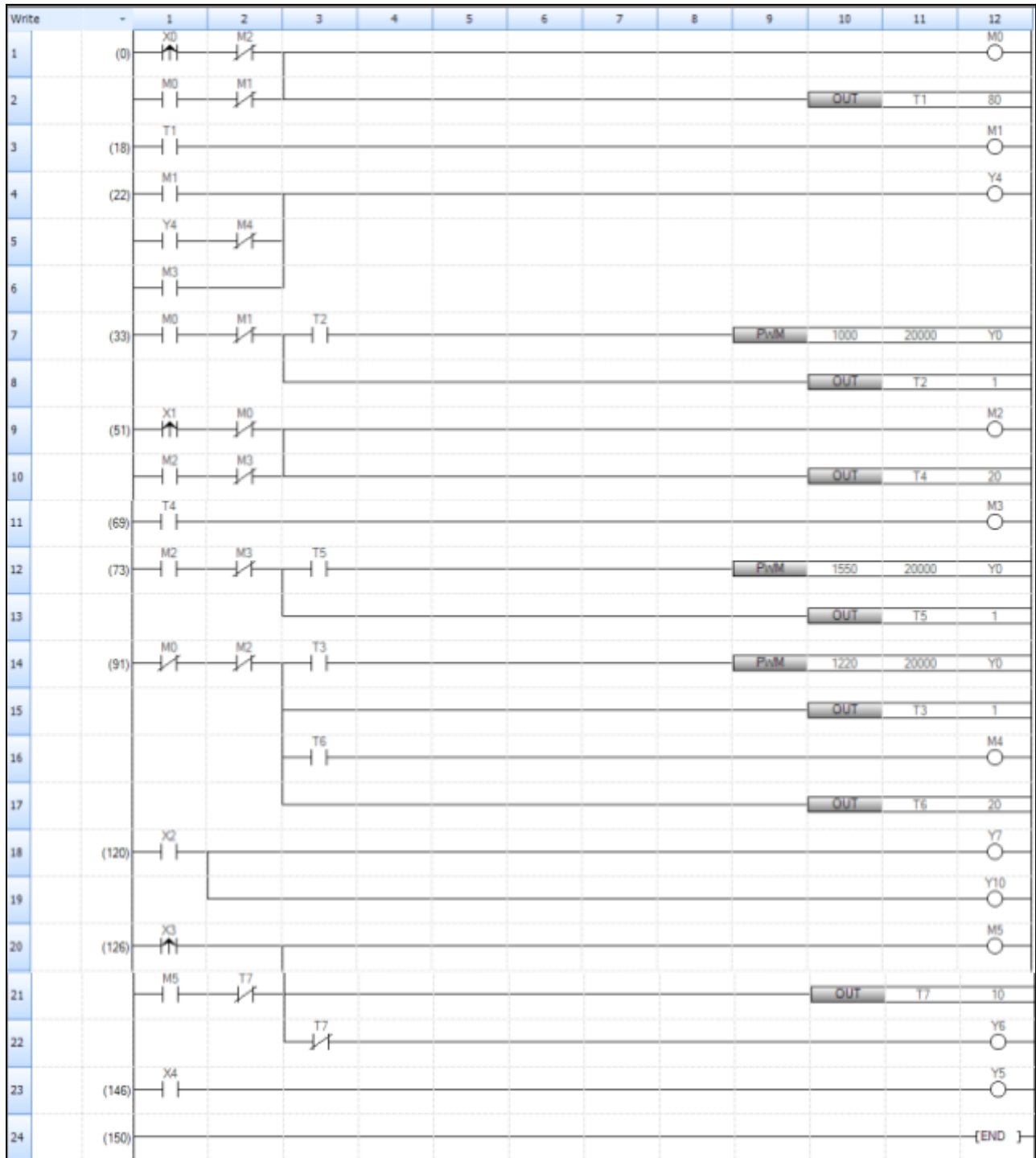


Figura 27. Programa en Ladder para el control del sistema.

Para accionar el servomotor Mg996r directamente desde el PLC Mitsubishi Fx5u-32mt/ess, es necesario modificar las unidades de tiempo de los pines I/O de alta velocidad. En este caso, es necesario configurar la salida **Y0** del PLC en microsegundos desde el programa GX Works 3, ya que es el pin conectado a la señal PWM del servomotor y las señales que se encargan de posicionar el servomotor, están dadas en el orden de los microsegundos. En la **Figura 28**, se muestra la ruta para modificar las unidades de tiempo del PWM.

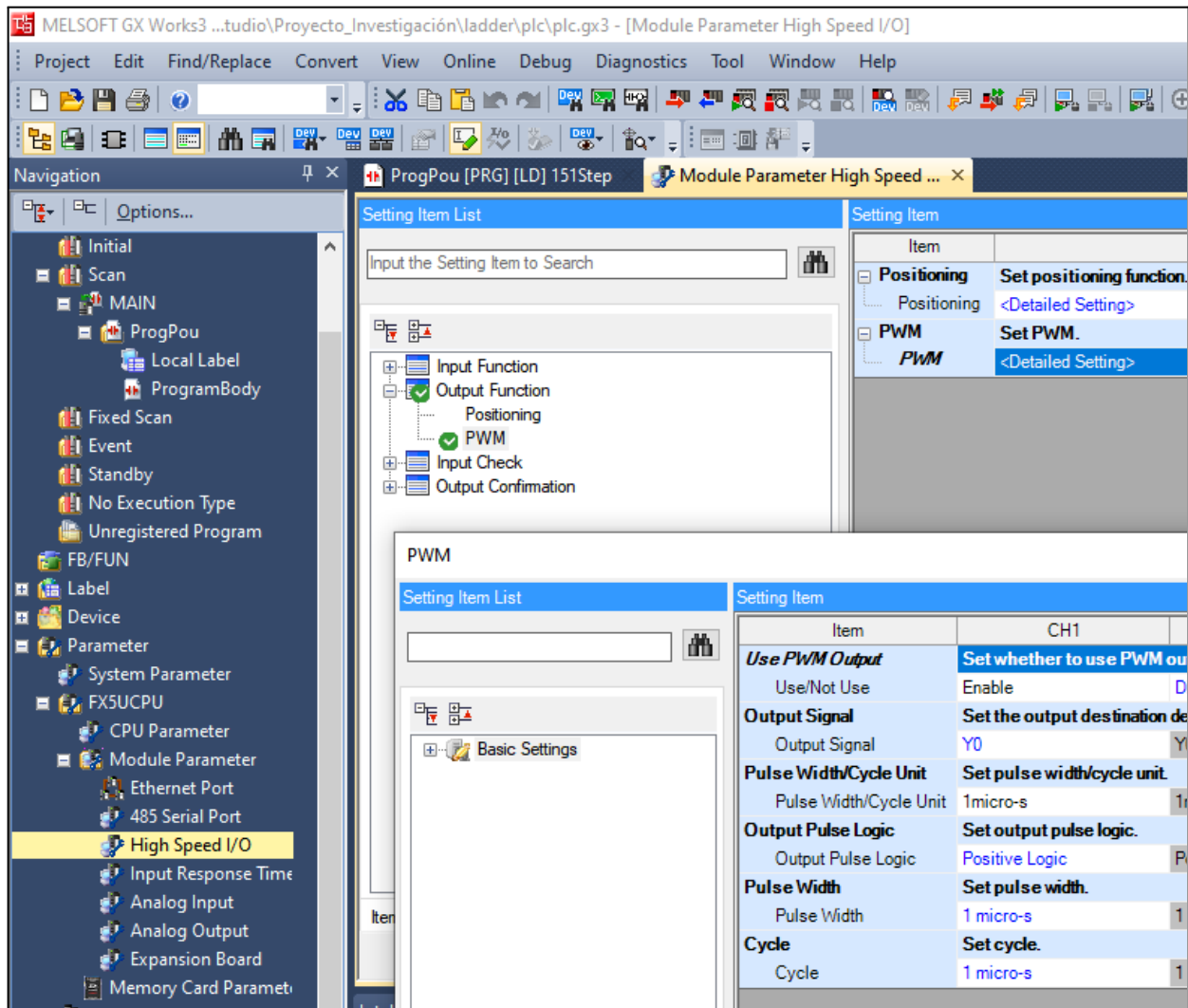


Figura 28. Ruta para modificar las unidades de tiempo del PWM.

G. Activar ciclo automático del Robot desde el PLC

Para lograr una integración completa con el PLC, se otorgó la tarea al controlador programable, de inicializar el ciclo de trabajo del robot mediante dos pulsadores, dispuestos en la parte frontal del gabinete del sistema eléctrico, **Figura 25**. Es decir, los botones Cycle Start y Fault Reset, también están disponibles desde el sistema de control de la pinza. Todo esto con el fin de facilitar el trabajo al operario, en este caso: el estudiante o profesor que esté utilizando el sistema conformado por el Robot y la nueva pinza; y de crear la posibilidad de integrar e incorporar sistemas más completos al actual; es decir, poder incorporar el sistema de robot y pinza, con otras herramientas industriales, como bandas transportadoras, equipos de modelado, corte, etc.

A continuación, la **Figura 29**, contiene las salidas necesarias para que los botones de la **Figura 25** (CYCLE START y RESET FAULT) puedan enviar la orden al controlador RJ2, de activación del ciclo autónomo del Robot. Dichas salidas están ubicadas en el costado del gabinete de protección de la **Figura 26**.

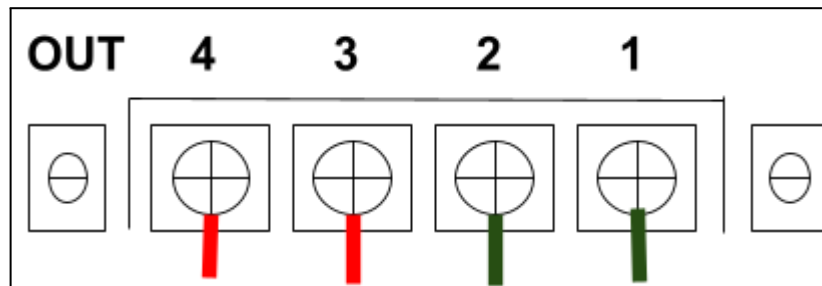


Figura 29. Salida para el control del Ciclo del Robot.

H. Programación del robot y la nueva herramienta.

Después de tener el sistema de control de la pinza instalado y programado, fue necesario crear las rutinas encargadas de dar las órdenes al PLC y posteriormente la pinza, para agarrar y soltar el objeto durante el ciclo de trabajo del robot. Las rutinas de trabajo están programadas desde el pendant en **TPE**, el cual es el lenguaje de programación básico de robots FANUC. La **Figura 30**, contiene la rutina para inicializar el sistema de la pinza universal; esta inicialización es clave para que la pinza siempre comience a operar bajo las mismas condiciones.

```
IN_SYS
1:    WO[6]=ON
2:    WAIT    .90(sec)
3:    WO[4]=ON
4:    WAIT    .10(sec)
5:    WO[4]=OFF
6:    WAIT WI[5]=ON
7:    WAIT    2.00(sec)
8:    WO[5]=ON
9:    WAIT    .10(sec)
10:   WO[5]=OFF
11:   WAIT    .50(sec)
[End]
```

Figura 30. Programa en TPE para inicializar el sistema de la Pinza.

La anterior rutina llamada IN_SYS, se encarga de encender el compresor y su sistema de refrigeración con el fin de succionar todo el aire de la cámara de la pinza y posteriormente inyectar una leve cantidad de aire, lo suficiente para que el material granulado se descomprima y pueda rodear el contorno de la pieza al hacer presión antes del agarre. Con esta rutina se garantiza que el sistema arranque en las mismas condiciones de trabajo, siempre que se vaya a utilizar. En la **Figura 30**, la **Línea 1**, enciende el motor de nevera; la **Línea 2**, genera una espera de 0.9 segundos para que dicho motor se estabilice; las **Líneas** de la **3** a la **5** generan un flanco de subida para activar la secuencia de **Succión** en el PLC; la **Línea 6**, espera la confirmación del PLC cuando la rutina de **Succión** termina; la **Línea 7**, crea un tiempo de estabilización del sistema general antes de crear la última rutina; las **Líneas** de la **8** a la **11** crean el flanco para la secuencia de **Soltar** en el PLC.

La **Figura 31**, contiene la rutina para ordenar el agarre de la pieza y la **Figura 32**, contiene la rutina para soltar el objeto, una vez que se llegue a la posición de interés con el robot.

```
SUCCION

1:    WO[4]=OFF
2:    WAIT    .50(sec)
3:    WO[4]=ON
4:    WAIT WI[5]=ON
5:    WO[4]=OFF
6:    WAIT    .50(sec)
[End]
```

Figura 31. Programa en TPE para agarrar la pieza.

```
SOLTAR

1:    WO[5]=OFF
2:    WAIT    .50(sec)
3:    WO[5]=ON
4:    WAIT WI[5]=ON
5:    WO[5]=OFF
6:    WAIT    .50(sec)
[End]
```

Figura 32. Programa en TPE para soltar la pieza.

Las rutinas **IN_SYS**, **SUCCION** y **SOLTAR**, son programas que se construyeron en el pendant del robot FANUC Arc Mate 100i, con el fin de disponer de las mismas durante una rutina de movimientos y tareas del robot. Dichas rutinas pueden ser llamadas desde un programa principal para su uso. En la siguiente Figura se muestra el código principal que se encarga de utilizar las rutinas anteriormente descritas y combinarlas con algunos de los movimientos del robot, con el fin de ejecutar tareas de agarre y movimiento de un objeto en específico.

```
MAIN

1:J P[1] 20% CNT100
2:  CALL IN_SYS
3:L P[2] 300mm/sec FINE
4:  CALL SUCCION
5:L P[3] 300mm/sec FINE
6:J P[4] 20% CNT100
7:L P[5] 300mm/sec FINE
8:  CALL SOLTAR
9:L P[6] 300mm/sec FINE
10:L P[7] 300mm/sec FINE
11:  CALL SUCCION
12:L P[8] 300mm/sec FINE
13:J P[9] 20% CNT100
14:L P[10] 300mm/sec FINE
15:  CALL SOLTAR
16:L P[11] 300mm/sec FINE
17:  WO[6]=OFF

[End]
```

Figura 33. Programa en TPE para agarrar y mover un objeto.

La rutina anterior es un ejemplo de cómo se utilizaron las rutinas **IN_SYS**, **SUCCION** y **SOLTAR**, en un programa determinado para mover un objeto desde un punto A a un punto B.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Durante la realización del trabajo descrito, paralelamente al robot se le realizaron trabajos de limpieza y pintura. La **Figura 34**, muestra el robot Arc MAté 100i de la marca FANUC posterior al proceso de pintura y sobre el cual se realizó el trabajo.



Figura 34. Robot Arc Mate 100i restaurado.

A. Pruebas con diferentes objetos

Para realizar las pruebas del montaje, se utilizaron objetos de diferentes pesos y formas geométricas. La siguiente tabla, contiene la descripción y el peso de los objetos utilizados en dicha prueba.

TABLA I
DESCRIPCIÓN Y PESO DE LOS OBJETOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

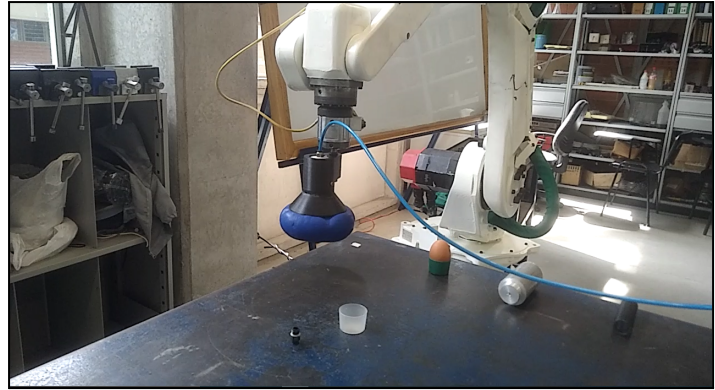
Objeto	Peso	Descripción
Pieza de Hierro	1.75 Kg	Bloque de hierro macizo con superficies lisas y aristas biseladas.
Huevo	0.062 Kg	Se utilizó en la prueba para simular la manipulación de objetos frágiles
Cilindro de Aluminio	0.59 Kg	Se realizó la sujeción por la cara curva del cilindro, para dificultar el agarre a la pinza
Resorte de Hierro	0.063 Kg	Se utilizó en la prueba para simular la manipulación de objetos con superficies no homogéneas.

Las Tablas II, III, IV y V, ilustran el comportamiento del sistema ante las pruebas realizadas, con los objetos descritos en la TABLA I.

TABLA II
AGARRE Y TRASLADO DEL BLOQUE DE HIERRO

Item	Nombre	Imagen
1	Agarre del Bloque de hierro en punto A	

2 Traslado del bloque de Hierro



3 Bloque de Hierro en punto B



TABLA III
AGARRE Y TRASLADO DEL HUEVO

Item

Nombre

Imagen

1

Agarre del huevo en punto A



Huevo en punto B

2



TABLA IV

AGARRE Y TRASLADO DEL CILINDRO DE ALUMINIO

Item	Nombre	Imagen
1	Agarre del cilindro de Aluminio en punto A	
2	Traslado del cilindro de Aluminio	

3 Cilindro de Aluminio en punto B

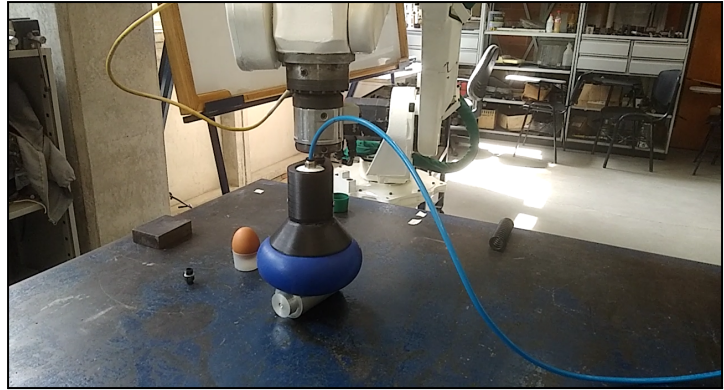


TABLA V
AGARRE Y TRASLADO DEL RESORTE DE HIERRO

Item	Nombre	Imagen
1	Agarre del resorte de hierro en punto A	

- 2 Traslado del resorte de hierro



- 3 Resorte de hierro en punto B



B. Análisis de los Resultados

Después de las pruebas realizadas de la pinza y su sistema, se observan ventajas que contribuyen al cumplimiento de los objetivos propuestos en el trabajo desarrollado y las desventajas que se convierten en oportunidades de mejora al sistema general de la pinza. Dentro de las ventajas se resalta la facilidad para el agarre y manipulación de piezas con formas geométricas diversas, tanto de objetos pesados y rústicos, como de objetos delicados y ligeros. Otra de las ventajas que ofrece la pinza, es el correcto funcionamiento de la misma, sin necesidad de retroalimentación sensorial, siendo esta acción un valor agregado para optimizar el funcionamiento del sistema. El tiempo de uso y el tiempo que toma la pinza para agarrar y soltar un objeto, son las desventajas que presenta el sistema; además, la pinza universal construida en

este trabajo, solamente puede manipular un objeto a la vez lo cual no resulta conveniente si se requiere en una aplicación industrial.

Dentro de los objetivos planteados, es importante resaltar la evaluación del sistema propuesto, con la tarea de mover un objeto de 1 Kg de peso desde un punto A a un punto B aleatorio dentro del área de trabajo del robot, **Figura 1**. Dentro de los objetos que se utilizaron para dicha prueba, el bloque de hierro de 1.75 Kg supera los requerimientos de la prueba solicitada en dicho objetivo.

El cilindro de aluminio, el resorte de hierro y el huevo, son objetos que sumaron a la prueba con el fin de observar la versatilidad de la nueva herramienta o pinza, pues con estos se demuestra que la manipulación de los mismos es indiferente a la forma geométrica y a la superficie del objeto, garantizando las condiciones del sistema para utilizar el manipulador industrial como herramienta de aprendizaje en el área de la robótica.

Durante las pruebas realizadas, se observa mayor eficiencia por parte de la pinza Universal, al momento de agarrar objetos con mayor cantidad de relieve en sus superficies, es decir, los objetos con caras curvas como el cilindro de aluminio tienden a crear un menor agarre, mientras que al objeto como el bloque de hierro, la pinza universal logra sujetar con mayor fuerza dado la irregularidad superficial del objeto y la solidificación del grano en dicho contorno.

La construcción del sistema neumático, presenta oportunidades de mejora en la optimización del funcionamiento en general. Uno de los factores a tener en cuenta, es la velocidad en las acciones realizadas por el sistema: agarrar y soltar; durante el conjunto de tareas realizadas por el robot manipulador y el nuevo sistema de pinza o efector final, pues el uso de un motor de nevera, para generar presión y vacío al mismo tiempo no resulta ser eficiente en un ambiente industrial, debido al calentamiento del mismo y al bajo caudal de aire proporcionado. Esto ocasiona que el sistema de la pinza tenga que operar durante un período de tiempo igual a 1 hora por cada 30 minutos de descanso, del mismo modo que el manipulador industrial tenga que esperar 8 segundos para que se complete la succión de la pieza y 2 segundos para soltar la misma, antes de su movimiento de traslado. Para efectos de prototipado y aprendizaje, el motor de nevera

cumple la función en dicha etapa, debido al fácil acople con las válvulas neumáticas disponibles para el trabajo; y el resto de recursos disponibles para la elaboración del prototipo de la pinza Universal, acoplada al robot FANUC Arc Mate 100i. Dicha pinza solamente puede manipular un objeto a la vez, si se requiere de sus funciones en un ambiente industrial, además de la mejora al sistema neumático, se debe garantizar que la misma pueda manipular más de un objeto simultáneamente, según la operación industrial lo requiera, un arreglo matricial de pinzas universales, es una posible solución a dicho inconveniente.

La pinza Universal construida en el trabajo [8] y la pinza Universal construida en este trabajo, bajo la modalidad de prototipo, presentan comportamientos muy similares ante las pruebas realizadas. Pues ambas pinzas, presentan mayor fuerza de agarre en objetos con mayor irregularidad superficial, como las figuras tipo cuboides. Además, se observa en ambas, una gran facilidad para sujetar eficientemente objetos con formas geométricas diversas sin alterar o dañar el mismo, como en la prueba realizada con el huevo.

El trabajo realizado en [14] es también una pinza de agarre flexible basada en electroadhesión y es utilizada para manipular objetos livianos y delicados como el huevo y objetos de cristal. La pinza de dicho trabajo funciona aplicando alto voltaje sobre un electrodo polimérico, el cual se adapta al contorno del objeto al generar campos magnéticos de atracción y de repulsión. La pinza Universal y la pinza basada en electroadhesión, tiene la facilidad de manipular objetos frágiles y con formas geométricas diversas, pero la pinza basada en electroadhesión no puede manipular objetos tan pesados como el bloque de hierro; por lo tanto la pinza universal resulta ser más conveniente si se requiere versatilidad en un efector final, ya que puede manipular mayor variedad de objetos.

Es importante resaltar que tanto el sistema neumático como la construcción de la pinza Universal, se encuentran en una etapa de prototipado y que la comunicación entre el Robot y el PLC que se logró en este trabajo, conducen a la posibilidad de una integración con un sin número de herramientas industriales, abriendo las puertas a nuevos desarrollos en temas relacionados con la robótica industrial.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el procedimiento para construir y acoplar un mecanismo de pinza Universal, mediante el uso de impresión 3D, utilizando un sistema neumático y un PLC en la etapa de control electrónico, con el fin de incrementar el número de tareas que pueda llevar a cabo el robot Arc Mate 100i de la marca FANUC. El procedimiento está distribuido en ocho etapas, de acuerdo al mapa conceptual de la **Figura 4** y fué necesario el cumplimiento de cada una, con el fin de ejecutar los objetivos planteados en el trabajo descrito.

Durante las etapas que constituyen el procedimiento, se destaca la importancia de escoger una pinza robótica o herramienta final de acuerdo a los objetivos planteados en el trabajo, ya que es indispensable cubrir la necesidad que en los mismos se plantea. En este caso, una herramienta versátil como la pinza Universal es clave, si se quiere hacer del robot Industrial Arc Mate 100i una herramienta de aprendizaje, dónde las tareas de traslado y agarre de objetos, resultan convenientes para tal fin. También es importante resaltar las etapas que desarrollan la integración del robot con el PLC, pues además de ser un tema de suma importancia en la robótica, desglosa la posibilidad de acoplar distintas herramientas o máquinas inmersas en la robótica industrial.

De acuerdo a los resultados obtenidos y al análisis realizado, el robot en cuestión, además de las funciones de soldadura que por defecto trae desde fábrica, puede realizar tareas de agarre y movimiento de objetos con diferentes formas geométricas, materiales y pesos, otorgando la versatilidad requerida en los objetivos de este trabajo. La evaluación del sistema, de acuerdo a los objetivos específicos, consta en realizar las acciones de sujetar, trasladar y soltar distintos objetos menores o iguales a 1 Kg de peso, desde un punto A a un punto B dentro del área de trabajo del robot. Con el bloque de hierro de 1.75 Kg de peso, descrito en la **TABLA I**, se superan las expectativas en cuanto a la evaluación propuesta, pues el Robot Arc Mate 100i con su nuevo efector final o pinza Universal construido en este trabajo, fue capaz de sujetar, mover y soltar dicho objeto de un punto A a un punto B, de acuerdo a las imágenes de la **TABLA II**.

Es importante resaltar la oportunidad de mejora que ofrece el sistema neumático, aunque el diseño y los materiales que lo conforman actualmente cumplen con el funcionamiento necesario

para satisfacer los objetivos de este trabajo teniendo en cuenta que es una etapa de prototipado, existe la posibilidad de optimizar su funcionamiento y con esto mejorar el rendimiento del sistema en general.

REFERENCIAS

- [1] M. Ghobakhloo, "Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability", *Journal of Cleaner Production*, vol. 252, p. 119869, abril de 2020. Accedido el 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.
- [2] E. Brown et al., "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n.º 44, pp. 18809–18814, octubre de 2010. Accedido el 7 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1073/pnas.1003250107>
- [3] Madrigal, R. I., & Idiarte, E. V. (2002). *Robots industriales manipuladores* (Vol. 130). Univ. Politèc. de Catalunya.
- [4] Fanuc ARC Mate 100i - [PDF Document]. (2022). Retrieved from <https://fddocuments.in/document/fanuc-arc-mate-100i.htm>
- [5] FANUC Robotics SYSTEM R-J2 Controller HandlingTool Setup and Operations Manual Version 4.40-1 MARO2HT4405801E REV. B
- [6] E. Mandado Pérez, J. Marcos Acevedo, C. Fernández Silva y J. I. Armesto Quiroga, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Vigo: Marcombo.
- [7] "FX5U-32MT/ES - Mitsubishi Electric Factory Automation". MITSUBISHI ELECTRIC ESPAÑA. <https://es.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/plcf/cpu-module/fx5u-32mt-es.html> (accedido el 30 de noviembre de 2022).
- [8] E. Brown, N. Rodenberg, J. Amend y e. al, "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material", *PNAS*, 2010.
- [9] M. G. J, Ed., *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, 2007.
- [10] J. Delgado García, "Creación de una célula robotizada para formación basada en equipos Fanuc y Siemens", 2020.
- [11] P. Ponsa y P. Pere, "DESCRIPCIÓN DEL ARMARIO DE CONTROL DEL ROBOT FANUC", p. 37, 2003.

- [12] R. Volk, "Electric and pneumatic drives in an exact comparison; Elektrische und pneumatische Antriebe im exakten Vergleich", vol. 92, pp. 26–27, abril de 2013.
- [13] J. Jiménez Cruz, "Cibernética, inteligencia artificial y robótica", 2009.
- [14] J. Shintake, S. Rosset, B. Schubert, D. Floreano y H. Shea, "Versatile Soft Grippers with Intrinsic Electro-adhesion Based on Multifunctional Polymer Actuators", *Advanced Materials*, vol. 28, n.º 2, pp. 231–238, noviembre de 2015. Accedido el 16 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/adma.201504264>

ANEXOS

Anexo A. Pruebas de funcionamiento y breve explicación del trabajo.

- Breve explicación del trabajo de grado (Video) : <https://fb.watch/i8rIv9LYaY/>
- Pruebas de Funcionamiento (Video): <https://youtu.be/04rikKIJDyU>