

**Control angular y software para electrólisis**

**David Norbey Almeyda Reyes**

**Informe de práctica para optar al título de ingeniero mecatrónico**

**Director**

**Ing. Luis Rodrigo Mancilla López**

**Especialista en Automatización Industrial**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Facultad de Ingeniería Mecatrónica**

**2025**

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción .....   | 9  |
| 1.1 Planteamiento del problema .....                                       | 10 |
| 1.2 Reseña de la empresa .....   | 11 |
| 1.3 Justificación .....  | 12 |
| 1.4 Objetivos .....  | 13 |
| 1.4.1 Objetivo general .....   | 13 |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....  | 13 |
| 2. Marco referencial .....   | 14 |
| 2.1 Marco teórico .....  | 15 |
| 2.1.1 Diseño de interfaces gráficas en sistemas de control .....           | 15 |
| 2.1.2 Medición angular con goniómetro digital .....                        | 16 |
| 2.1.3 Mitigación de Armónicos en Motores de Corriente Continua .....       | 16 |
| 2.1.4 Automatización de Procesos de Anodizado y Electropulido .....        | 17 |
| 2.1.5 Comunicación Serial RS-232 en el Control de la Fuente de Poder ..... | 18 |
| 3. Plan de trabajo .....   | 18 |
| 4. Desarrollo del software de electrólisis .....                           | 19 |
| 5. Desarrollo de control angular .....                                     | 21 |
| 6. Resultados .....  | 31 |
| 7. Conclusiones .....  | 33 |
| 8. Recomendaciones .....   | 34 |
| Referencias .....  | 36 |

**Lista de figuras**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Interfaz funcionando en su modo de electropulido, figura del autor.....</i> | 20 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Mecanismo construido, figura del autor.....</i>                             | 21 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Mecanismo, figura del autor.....</i>  | 22 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Primer montaje, figura del autor.....</i>                                   | 22 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Goniómetro en mesas, figura del autor.....</i>                              | 23 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Comparación con modelo comercial, figura del autor.....</i>                 | 23 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Circuito Optoacoplador, figura del autor.....</i>                           | 24 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Circuito Optoacoplador, figura del autor.....</i>                           | 24 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Electrónica de control, figura del autor.....</i>                           | 25 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Carcasa, figura del autor.....</i>   | 26 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Acople de carcasas, figura del autor.....</i>                              | 26 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Ensamble de carcasa, figura del autor.....</i>                             | 27 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Interfaz, figura del autor .....</i>                                       | 28 |

### **Lista de apéndices**

**Apéndice A.** Instructivo de operación y mantenimiento del control angular para mesas de mecanizado.

**Apéndice B.** Manual de operación del software de control para anodizado y electropulido.

Nota: los apéndices que complementan este informe técnico se encuentran disponibles en documentos anexos y no están incorporados directamente en el cuerpo del presente documento. Esta decisión responde a criterios de organización y claridad, ya que dichos apéndices contienen información técnica detallada que por su extensión y especificidad podrían dificultar la lectura continua del informe.

Los documentos anexos pueden ser consultados por los interesados para profundizar en los aspectos técnicos y operativos de cada uno de los proyectos desarrollados. En caso de requerirse, están disponibles en formato digital y pueden ser entregados previa solicitud a la dirección del trabajo o al área correspondiente de la empresa Quirúrgicos Especializados S.A.S.

### Resumen

El presente informe técnico expone el desarrollo de dos proyectos ejecutados durante las prácticas empresariales en Quirúrgicos Especializados S.A.S., orientados a la mejora de procesos industriales mediante soluciones de automatización. El primer proyecto consistió en el diseño e implementación de un software para el control automatizado de la fuente de voltaje Matsusada 500V-30, utilizada en los procesos de anodizado y electropulido. Esta solución permitió optimizar los tiempos de operación, mejorar la trazabilidad de los procesos y aumentar la seguridad de los operarios.

El segundo proyecto abordó la automatización de los ejes cuarto y quinto de una fresadora CNC, mediante el desarrollo de un sistema de posicionamiento angular controlado por microcontroladores (Arduino y ESP32-C3), una interfaz gráfica en Python y sensores inerciales. Esta intervención mejoró la precisión del mecanizado y redujo los errores asociados al ajuste manual de los ángulos de inclinación.

Ambos proyectos cumplieron satisfactoriamente con los objetivos planteados, demostrando su funcionalidad, escalabilidad y adaptabilidad a otros procesos industriales. La experiencia fortaleció las competencias del estudiante en programación, diseño mecánico, integración electrónica y gestión de proyectos tecnológicos en entornos productivos reales.

*Palabras clave:* automatización industrial, anodizado, electropulido, control angular, CNC, software de control, ESP32, Arduino

### **Abstract**

This technical report presents the development of two projects carried out during the industrial internship at Quirúrgicos Especializados S.A.S., aimed at improving manufacturing processes through automation solutions. The first project involved the design and implementation of a control software for the Matsusada 500V-30 power supply, used in anodizing and electropolishing processes. This solution optimized operating times, improved process traceability, and increased operator safety.

The second project focused on automating the fourth and fifth axes of a CNC milling machine through the development of an angular positioning system controlled by microcontrollers (Arduino and ESP32-C3), an interactive graphical interface in Python, and inertial sensors. This approach enhanced machining accuracy and reduced errors caused by manual angular adjustments.

Both projects successfully met their objectives, proving to be functional, scalable, and adaptable to other industrial applications. The internship experience strengthened the student's skills in programming, mechanical design, electronics integration, and technological project management in real production environments.

*Keywords:* industrial automation, anodizing, electropolishing, angular control, CNC, control software, ESP32, Arduino

## Glosario

*Anodizado*: proceso electroquímico que incrementa el espesor de la capa de óxido natural en la superficie de metales como el titanio o aluminio, mejorando su resistencia a la corrosión y su apariencia.

*Arduino*: plataforma de hardware libre basada en microcontroladores, utilizada para el desarrollo de sistemas electrónicos de automatización y control.

*CNC (Control Numérico Computarizado)*: sistema que controla maquinaria mediante instrucciones codificadas (G-code), permitiendo una fabricación precisa y automatizada.

*Electropulido*: técnica electroquímica utilizada para alisar, limpiar y pulir superficies metálicas, removiendo una capa superficial del material para mejorar su acabado y propiedades higiénicas.

*ESP32-C3*: microcontrolador con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, eficiente en consumo energético y adecuado para aplicaciones embebidas e inalámbricas.

*Fuente conmutada*: tipo de fuente de alimentación que convierte energía de forma eficiente mediante conmutación electrónica, útil en sistemas de alta demanda energética.

*G-code*: lenguaje de programación utilizado para controlar máquinas CNC, indicando movimientos, velocidades y trayectorias de mecanizado.

*Goniómetro digital*: dispositivo electrónico que mide ángulos de inclinación, utilizado aquí para el posicionamiento preciso de mesas en una fresadora CNC.

*Interfaz gráfica de usuario (GUI)*: entorno visual que permite la interacción entre el usuario y un sistema electrónico o software, facilitando el manejo de configuraciones y monitoreo.

*Matsusada 500V-30*: fuente de voltaje industrial de alta precisión utilizada en procesos electroquímicos como el anodizado y el electropulido.

*MPU6050*: sensor inercial que combina acelerómetro y giroscopio, utilizado para medir movimientos angulares y aceleraciones en distintos ejes.

*Multihilo (Multithreading)*: técnica de programación que permite ejecutar múltiples tareas en paralelo dentro de una misma aplicación, mejorando su rendimiento y respuesta.

*Optoacoplador*: componente electrónico que permite transmitir señales entre dos circuitos con aislamiento eléctrico, protegiendo la etapa de control de interferencias.

*PWM (Pulse Width Modulation)*: técnica de modulación usada para controlar motores eléctricos, variando el ancho del pulso en una señal para ajustar la potencia entregada.

*SCRUM*: metodología ágil de gestión de proyectos basada en ciclos iterativos (sprints), ideal para entornos de desarrollo dinámico.

*Trazabilidad*: capacidad de seguir y registrar el historial, ubicación o aplicación de un producto a través de información registrada de manera estructurada.

## Introducción

El presente informe aborda dos proyectos de desarrollo tecnológico realizados durante el período de prácticas en Quirúrgicos Especializados S.A.S. Estos proyectos tienen como objetivo principal la optimización de procesos industriales mediante la implementación de soluciones automatizadas.

El primero de estos proyectos se centra en el desarrollo de un software de control para la fuente de voltaje industrial Matsusada 500V-30, utilizada en procesos de anodizado y electropulido. La intención al desarrollar este software es reducir los tiempos de operación, garantizar métricas consistentes en cada repetición y, al mismo tiempo, aumentar la seguridad de los operarios y del equipo.

El segundo proyecto consiste en la automatización del cuarto y quinto eje de una fresadora CNC. Este proyecto busca mejorar la precisión del mecanizado de piezas, facilitando el ajuste de ángulos de las mesas de inclinación mediante un sistema de control externo, basado preliminarmente en Arduino. Al realizar esta automatización, se pretende minimizar el tiempo de ajuste manual y los errores asociados a la intervención visual de los operarios.

Ambos proyectos son fundamentales para mejorar la eficiencia y la calidad en los procesos de producción, contribuyendo así al crecimiento y la competitividad de Quirúrgicos Especializados S.A.S. en el sector industrial.

## 1. Control angular y software de electrólisis

### 1.1 Planteamiento del problema

La industria de dispositivos médicos en Colombia enfrenta retos significativos relacionados con la eficiencia, la calidad y la seguridad en sus procesos de producción. En este contexto, Quirúrgicos Especializados S.A.S., como fabricante de implantes quirúrgicos y dispositivos médicos, se encuentra ante la necesidad urgente de optimizar sus procesos industriales para mantenerse competitiva y cumplir con los estándares de calidad requeridos en el sector. En la actualidad, la empresa utiliza una fuente de voltaje industrial, Matsusada 500V-30, en sus procesos de anodizado y electropulido. Sin embargo, el control manual de este equipo ha generado variaciones en los tiempos de operación y en las métricas de calidad, lo que puede comprometer la eficacia de los productos finales. Además, los operarios están expuestos a riesgos laborales significativos, ya que cualquier error en el manejo de la fuente de voltaje puede derivar en accidentes eléctricos o daños en los equipos. Estas situaciones no solo afectan la productividad y los costos operativos, sino que también ponen en riesgo la integridad del personal y la reputación de la empresa frente a sus clientes y aliados estratégicos.

Por otro lado, en el área de mecanizado, la fresadora CNC utilizada actualmente presenta limitaciones operativas debido a la necesidad de configurar manualmente los ángulos de inclinación en sus mesas. Este proceso, realizado de forma visual por los operarios, no cuenta con una asistencia digital ni mecanismos de precisión que aseguren una correcta alineación. Como consecuencia, el tiempo destinado a los ajustes aumenta considerablemente, afectando la eficiencia global del proceso de mecanizado. Además, esta dependencia del juicio humano incrementa la probabilidad de errores que pueden traducirse en piezas defectuosas, retrabajos o

desperdicio de material. Esta situación representa un desafío particular en trabajos que requieren alta precisión, como los componentes quirúrgicos personalizados, donde incluso una ligera desviación puede inutilizar una pieza. Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de integrar soluciones tecnológicas que automaticen estos ajustes y aseguren una producción más uniforme y confiable.

## **1.2 Reseña de la empresa**

Quirúrgicos Especializados S.A.S. es una empresa colombiana dedicada a la fabricación y suministro de dispositivos médicos, especializada en implantes quirúrgicos para la fijación de fracturas óseas. Su visión para el año 2024 es consolidarse como una organización reconocida en el país, comprometida con la producción de dispositivos de alta calidad que brinden herramientas eficaces a los médicos, garantizando una adecuada reparación de las fracturas.

La misión de la empresa se centra en ofrecer soluciones innovadoras y efectivas, apoyándose en un equipo de profesionales y proveedores altamente calificados. Esto permite a Quirúrgicos Especializados S.A.S. responder de manera oportuna a las necesidades de bienestar de sus usuarios, así como a las demandas de las empresas del sector salud y los servicios médico-quirúrgicos.

La política de calidad de la empresa enfatiza su compromiso con la fabricación de implantes de osteosíntesis que cumplen con los requerimientos legales exigidos en Colombia. Su personal, capacitado y comprometido, se dedica a proporcionar soluciones efectivas que contribuyan al mejoramiento continuo de sus procesos y a la satisfacción de sus clientes.

Con una cobertura a nivel nacional, Quirúrgicos Especializados S.A.S. Se posiciona como un referente en la industria de dispositivos médicos, ofreciendo productos que garantizan la seguridad y eficacia en los tratamientos quirúrgicos.

### **1.3 Justificación**

La identificación de los problemas en los procesos de anodizado, electropulido y mecanizado en Quirúrgicos Especializados S.A.S. ha surgido de la necesidad de optimizar la eficiencia y la seguridad en la producción. La falta de automatización en el control de la fuente de voltaje industrial y el ajuste manual de los ejes en la fresadora CNC ha llevado a inconsistencias en la calidad de los productos, así como a un incremento en los tiempos de operación. Esta situación plantea riesgos tanto para los operarios, debido a la exposición a condiciones inseguras, como para la calidad de los dispositivos médicos producidos.

Para abordar estas problemáticas, se requiere realizar pruebas exhaustivas en los sistemas desarrollados, así como en los procesos actuales. Se necesitará un software robusto que garantice un control preciso de la fuente de voltaje y un sistema de automatización que integre de manera efectiva los ejes de la fresadora CNC, sin interferir con el código G "G-code" existente. La solución práctica debe ser capaz de ofrecer un control seguro, eficiente y fácil de usar, garantizando la consistencia en la producción y la seguridad de los operarios.

El alcance del proyecto se extiende a la optimización de los procesos de anodizado, electropulido y mecanizado, beneficiando tanto a la producción interna como a la satisfacción de las necesidades del mercado. La implementación de estas soluciones no solo mejorará la eficiencia operativa, sino que también asegurará la calidad de los productos, posicionando a

Quirúrgicos Especializados S.A.S. como un líder en el sector de dispositivos médicos en Colombia.

Si no se aborda esta situación, las consecuencias pueden ser significativas. La empresa podría enfrentar un aumento en los costos de producción, una disminución en la calidad de los dispositivos médicos y, en última instancia, una pérdida de competitividad en el mercado.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar e implementar soluciones tecnológicas para optimizar los procesos de anodizado y electropulido, así como mejorar la eficiencia en la producción mediante la automatización de mecanismos de posicionamiento angular.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Diseñar y desarrollar un software integral para el control automatizado de la fuente de voltaje Matsusada utilizada en los procesos de anodizado y electropulido. Este software debe registrar información histórica detallada, incluyendo la fecha, la hora, el operario, el proceso aplicado y la referencia Invima, para mejorar el seguimiento y control de calidad en la fabricación de placas y tornillos quirúrgicos.
- Crear e implementar mecanismos de posicionamiento angular automatizados para mesas angulares, con el fin de optimizar los tiempos de producción. Este sistema debe reemplazar el proceso manual actual, mejorando la precisión y la eficiencia en el ajuste de las piezas mecanizadas, y reduciendo el tiempo de producción.

- Evaluar y documentar los procesos actuales de anodizado, electropulido y mecanizado para identificar oportunidades de mejora. Desarrollar e implementar procedimientos que optimicen estos procesos, y proporcionar documentación detallada y manuales de usuario para asegurar una integración efectiva de las nuevas soluciones tecnológicas en la producción.

## **2. Marco referencial**

La industria de dispositivos médicos en Colombia enfrenta retos significativos relacionados con la eficiencia, la calidad y la seguridad en sus procesos de producción. En este contexto, Quirúrgicos Especializados S.A.S., como fabricante de implantes quirúrgicos y dispositivos médicos, se encuentra ante la necesidad urgente de optimizar sus procesos industriales para mantenerse competitiva y cumplir con los estándares de calidad requeridos en el sector. Actualmente, la empresa utiliza una fuente de voltaje industrial Matsusada 500V-30 en sus procesos de anodizado y electropulido. Sin embargo, el control manual de este equipo ha generado variaciones en los tiempos de operación y en las métricas de calidad, lo que puede comprometer la eficacia de los productos finales. Además, los operarios están expuestos a riesgos laborales significativos, ya que cualquier error en el manejo de la fuente de voltaje puede derivar en accidentes eléctricos o daños en los equipos. Estas situaciones no solo afectan la productividad y los costos operativos, sino que también ponen en riesgo la integridad del personal y la reputación de la empresa frente a sus clientes y aliados estratégicos.

Por otro lado, en el área de mecanizado, la fresadora CNC utilizada actualmente presenta limitaciones operativas debido a la necesidad de configurar manualmente los ángulos de inclinación en sus mesas. Este proceso, realizado de forma visual por los operarios, no cuenta con asistencia digital ni mecanismos de precisión que aseguren una correcta alineación. Como

consecuencia, el tiempo destinado a los ajustes aumenta considerablemente, afectando la eficiencia global del proceso de mecanizado. Además, esta dependencia del juicio humano incrementa la probabilidad de errores que pueden traducirse en piezas defectuosas, retrabajos o desperdicio de material. Esta situación representa un desafío particular en trabajos que requieren alta precisión, como los componentes quirúrgicos personalizados, donde incluso una ligera desviación puede inutilizar una pieza. Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de integrar soluciones tecnológicas que automaticen estos ajustes y aseguren una producción más uniforme y confiable.

## **2.1 Marco teórico**

### ***2.1.1 Diseño de interfaces gráficas en sistemas de control***

En el contexto de los sistemas de control y supervisión, las interfaces gráficas juegan un papel fundamental al facilitar la interacción entre el usuario y los procesos automatizados. Su correcto diseño influye directamente en la eficacia y seguridad de la operación. En el presente proyecto, se desarrolló una interfaz gráfica sobre una Raspberry Pi, con una arquitectura basada en Python, para gestionar un mecanismo de posicionamiento angular indexado. Este enfoque se alinea con metodologías centradas en el usuario, que priorizan la simplicidad, claridad visual y respuesta eficiente del sistema. La importancia de este tipo de diseño ha sido resaltada en trabajos como el de Sastoque, Narváez y Garnica, quienes establecen una metodología robusta para la creación de interfaces gráficas en sistemas industriales, enfocándose en la experiencia del usuario como eje central del desarrollo [1].

La elección de una Raspberry Pi como plataforma de control se fundamenta en su versatilidad, bajo costo y capacidad de integración con múltiples periféricos, permitiendo ejecutar scripts Python, controlar salidas digitales y recibir datos externos en tiempo real, lo que la convierte en una herramienta ideal para prototipado de aplicaciones industriales avanzadas.

### ***2.1.2 Medición angular con goniómetro digital***

La medición precisa del ángulo de inclinación en sistemas mecánicos de posicionamiento es un requerimiento esencial para garantizar exactitud y repetibilidad. En este proyecto, se diseñó e implementó un goniómetro digital utilizando un microcontrolador ESP32-C3 mini y un sensor inercial MPU6050, el cual combina acelerómetro y giroscopio. Este dispositivo permite determinar el ángulo de inclinación en tiempo real y transmitir los datos a la Raspberry Pi a través de comunicación Bluetooth. El principio de funcionamiento se basa en la medición de aceleraciones lineales y velocidades angulares, las cuales, procesadas adecuadamente, permiten calcular la orientación en el espacio. Según la documentación técnica de Keyence Corporation, los fundamentos de medición moderna enfatizan la necesidad de precisión, estabilidad y bajo retardo en la adquisición y transmisión de datos en sistemas automatizados [2].

El uso de sensores MEMS como el MPU6050 permite obtener lecturas confiables en entornos industriales siempre que se implementan filtros adecuados y rutinas de calibración, lo que resulta crucial cuando se desea una interfaz hombre-máquina sensible y precisa.

### ***2.1.3 Mitigación de Armónicos en Motores de Corriente Continua***

Durante el desarrollo del sistema de posicionamiento, se evidenció la presencia de armónicos generados por los motores de corriente continua utilizados para el desplazamiento

mecánico. Estos armónicos pueden afectar tanto el rendimiento del sistema como la integridad de las señales de comunicación y medición, especialmente en configuraciones donde coexisten componentes electrónicos de bajo voltaje y sensores sensibles. Para contrarrestar estos efectos, se implementó un sistema de aislamiento mediante optoacopladores, los cuales permiten desacoplar eléctricamente las etapas de potencia y control. Esta técnica ha demostrado ser efectiva en la reducción de interferencias electromagnéticas, minimizando la distorsión armónica. Montoya, en su trabajo sobre mitigación de armónicos en sistemas eléctricos industriales, destaca la importancia de identificar las fuentes de perturbación y aplicar soluciones basadas en aislamiento o filtrado pasivo, con el fin de preservar la calidad de la señal en sistemas de control [3].

#### ***2.1.4 Automatización de Procesos de Anodizado y Electropulido***

En la segunda fase de las prácticas, se desarrolló un sistema de control automatizado para procesos de anodizado de titanio y electropulido de acero inoxidable, enfocado en aplicaciones industriales y de laboratorio. Estos procesos requieren una regulación precisa de parámetros eléctricos como voltaje, corriente y tiempo de exposición, lo cual se logró mediante el desarrollo de un software dedicado que interactúa directamente con la fuente de poder.

El anodizado de titanio es una técnica electroquímica utilizada para modificar la superficie del material con fines funcionales o estéticos. En ambientes biomédicos, permite mejorar la biocompatibilidad y controlar las propiedades superficiales mediante la formación controlada de capas de óxido. Según López [4], este proceso implica una oxidación controlada que varía con la tensión aplicada, afectando el espesor, color y microestructura de la capa formada sobre la aleación de titanio.

Por otro lado, el electropulido de acero inoxidable es un proceso de acabado superficial en el que se remueve una delgada capa de material mediante disolución anódica en un electrolito ácido, lo que genera superficies más limpias, brillantes y con menor rugosidad. Cepeda Waltero y Torres Chaparro [5] destacan que el electropulido no solo mejora la estética, sino también las propiedades higiénicas y la resistencia a la corrosión del acero inoxidable, siendo ampliamente utilizado en industrias alimentarias, farmacéuticas y médicas.

### ***2.1.5 Comunicación Serial RS-232 en el Control de la Fuente de Poder***

El software desarrollado se comunica con la fuente de poder Matsusada V500-30 a través del protocolo RS-232, un estándar ampliamente adoptado en la industria para la transmisión de datos binarios entre computadoras y dispositivos periféricos. Este protocolo utiliza niveles de voltaje definidos y una configuración de puerto específica (bit por segundo, paridad, bits de parada), lo cual permite una comunicación robusta y sencilla. Forero [6] explica que, a pesar de su antigüedad, el protocolo RS-232 sigue siendo relevante en la automatización industrial debido a su simplicidad, bajo costo y facilidad de implementación, especialmente en aplicaciones donde no se requiere alta velocidad de transmisión ni redes complejas.

## **3. Plan de trabajo**

La metodología de trabajo adoptada para el desarrollo de estas prácticas empresariales fue Scrum. Cada problemática fue dividida en problemas específicos y resuelta mediante ciclos de trabajo o Sprints, los cuales no solo cumplían su propósito individual, sino que también aportan a la solución de la problemática general.

A la fecha de elaboración del presente informe, el trabajo se encuentra desarrollado en un porcentaje considerable. El período de práctica fue dividido en dos proyectos:

desarrollo de software de control para anodizado y electropulido, el cual ha sido finalizado por completo. La capacitación a operarios e interesados en el proceso se llevó a cabo el 11 de octubre de 2024 en las instalaciones de la empresa, con el acompañamiento de la dirección técnica.

Automatización de cuarto y quinto eje para fresadora con mesas de grados, proyecto del cual ya se ha definido completamente el diseño y funcionamiento, sujeto a posibles ajustes que optimicen su desempeño, diseño estético o requerimientos de fabricación, teniendo en cuenta la disponibilidad de materia prima en el mercado y en la empresa. Actualmente, continúan las compras de los aditamentos necesarios, mientras que la construcción del mecanismo ha sido finalizada, como se observa en la figura 1. La programación se encuentra en un 80 % de avance y, en este momento, se están realizando las adecuaciones necesarias para iniciar la instalación y posterior puesta en marcha.

#### **4. Desarrollo del software de electrólisis**

Primer sprint: desarrollo de un código para el control de la fuente a través de cadenas de caracteres enviadas en un orden específico mediante el protocolo de comunicación RS232. Este código fue implementado en Dev-C ++.

Segundo sprint: implementación del mismo protocolo de comunicación en un entorno de desarrollo que permitiera diseñar una interfaz de usuario interactiva para facilitar el control de la fuente. Esta interfaz permite crear distintas configuraciones, de modo que el operario solo debe seleccionarlas e iniciar su ciclo de operación. Además, registra los datos del operario, los

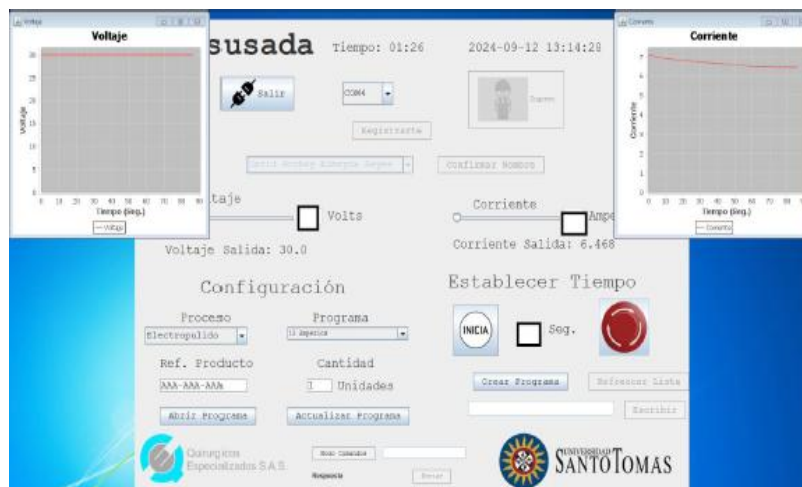
tiempos de operación y las tareas realizadas. El compilador utilizado fue Apache NetBeans IDE 22.

El soporte teórico de este proyecto se encuentra en los anexos del documento “Manual de operación del software de control para anodizado y electropulido”. Como se observa, cada sprint funciona de manera independiente, pero están jerárquicamente organizados, de modo que el primero constituye la base para el desarrollo del segundo. Esta estructura metodológica se extrapola al segundo proyecto.

Se adjunta a este informe el manual de operación del software, el cual incluye una guía de instalación. Dicho documento fue ajustado por la dirección técnica a los formatos internos de la empresa, mientras que el archivo adjunto corresponde a la versión original elaborada durante el proyecto.

A continuación, se presenta en la figura 1 la interfaz del software en funcionamiento.

**Figura 1.** Interfaz funcionando en su modo de electropulido



## 5. Desarrollo de control angular

Para este proyecto, se han ejecutado cuatro sprints, de los cuales tres ya han sido completados:

Primer sprint: diseño de un mecanismo robusto, capaz de soportar las cargas del mecanizado. Se desarrolló un modelo simétrico en el que dos mecanismos idénticos trabajan en espejo para el control de la primera mesa de grados. Se realizó un prototipo en 3D y, hasta la fecha, su construcción ha sido completada. Este incluye una carcasa impresa en 3D con recubrimiento de resina para impermeabilizar el motor (ver figuras 2, 3 y 4. todas figuras del autor).

**Figura 2.** *Mecanismo construido*



**Figura 3.** *Mecanismo construido***Figura 4.** *Primer montaje*

Segundo sprint: se desarrolló un goniómetro digital basado en un sensor inercial MPU6050, el cual permite medir con precisión los grados de inclinación de una mesa. Para interpretar y procesar la información obtenida por el sensor, se incorporó un segundo microcontrolador, en este caso una ESP32-C3 Mini.

Con el objetivo de dotar al dispositivo de autonomía, se integró una batería LiPo de 3,7 V y 1 A, junto con un módulo de carga que permite alimentar el sistema de forma segura. Además, se añadió un imán que permite fijar el dispositivo a superficies metálicas, asegurando su estabilidad durante el uso. Finalmente, el sistema cuenta con una pantalla mini LCD que muestra en tiempo real los ángulos de inclinación en los ejes X e Y (ver figuras 5 y 6). Todas figuras del autor.

**Figura 5.** *Goniómetro en mesas*

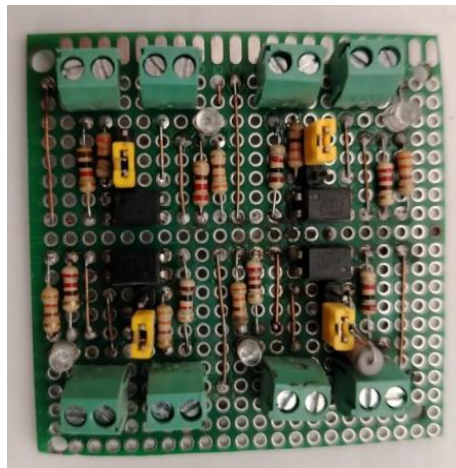


**Figura 6.** *Comparación con modelo comercial*

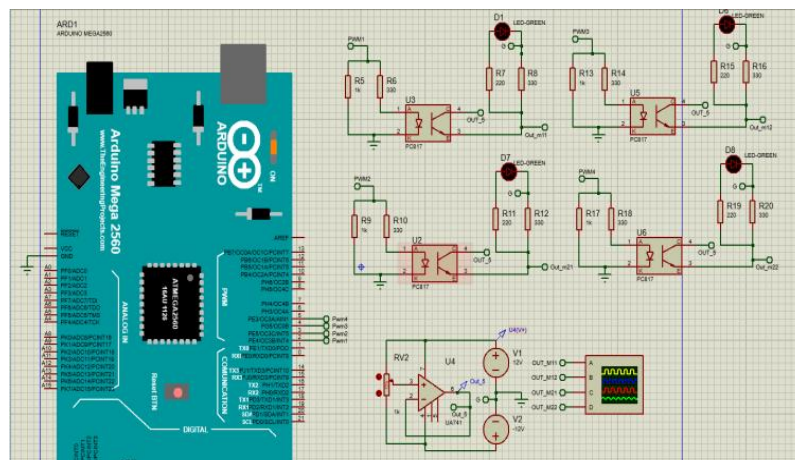


Tercer sprint: se diseñaron las conexiones electrónicas del sistema, prestando especial atención al aislamiento entre la etapa de potencia y la etapa de control, con el fin de garantizar la seguridad del sistema frente a los armónicos generados por los motores de corriente continua (DC). Para lograrlo, se implementaron optoacopladores, así como una placa de circuito impreso (PCB) diseñada específicamente para este proyecto (ver figuras 7 y 8). Todas figuras del autor.

**Figura 7.** *Circuito optoacoplador*



**Figura 8.** *Diseño del circuito optoacoplador*



Durante este tercer sprint, se integraron una Raspberry Pi 4, un Arduino Mega, dos controladores de potencia BTS7960 y un regulador de voltaje de 12V a 5V. La alimentación general del sistema se realiza mediante una fuente conmutada AC-DC de 12V y 30 A, la cual garantiza el suministro eléctrico necesario para todos los componentes. La disposición detallada de las conexiones puede observarse en la figura 9. figura del autor.

La caja mostrada en la figura 10, además de albergar la electrónica de control, ha sido diseñada para empotrarse directamente en el centro de mecanizado, facilitando su instalación sin necesidad de realizar perforaciones en la estructura original. Este sistema de sujeción se basa en tornillos ubicados en las caras de la caja que hacen contacto con el gabinete del centro de control. Dichos tornillos se ajustan manualmente hasta alcanzar la presión necesaria que garantiza una fijación firme y segura. (Ver figura 10). figura del autor.

**Figura 9.** *Electrónica de control*



**Figura 10.** *Carcasa*

Al concluir las actividades correspondientes a este sprint, se diseñó y fabricó una carcasa destinada a alojar la pantalla en un ángulo de visualización ergonómico para el operario, proporcionando además protección al teclado de operación. La carcasa se fija a la caja de electrónica mediante cuatro tornillos de sujeción ubicados en las esquinas, tal como se muestra en las figuras 11 y 12. (Ver figura 10: empotramiento de la caja).

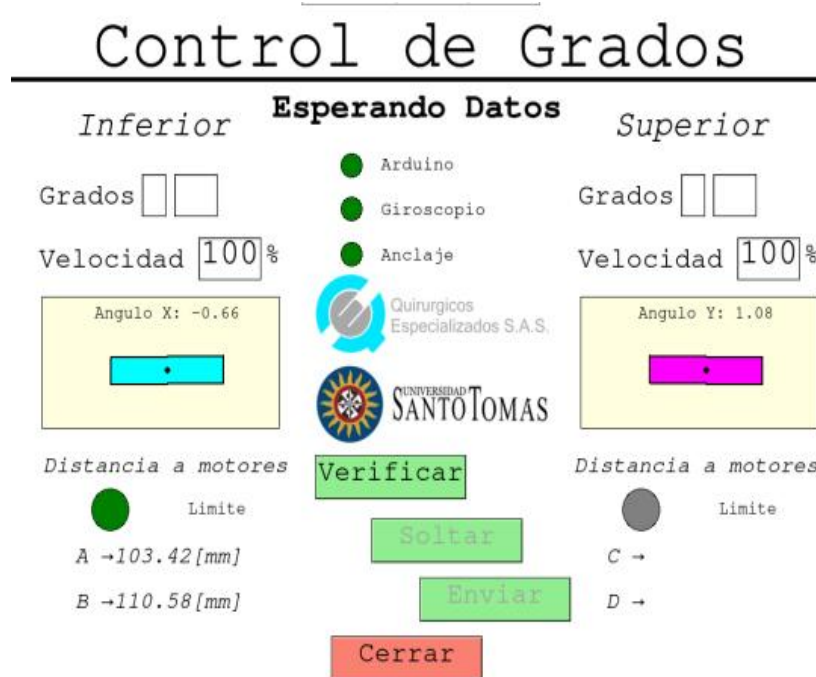
**Figura 11.** *Acople de carcasas*

**Figura 12.** *Ensamble de carcasa*

Cuarto sprint: durante esta etapa, se desarrolló una interfaz gráfica en Python, ejecutada directamente en la Raspberry Pi. Además, se programaron los microcontroladores involucrados en el sistema. El Arduino es responsable del control de los motores y se comunica con la interfaz gráfica mediante comunicación serial half-duplex. La interfaz gráfica gestiona la recepción de datos de entrada y su posterior envío al Arduino.

Adicionalmente, se estableció una comunicación vía Bluetooth con la ESP32-C3 Mini, la cual transmite a la Raspberry Pi el ángulo leído. Este valor es enviado al Arduino para cerrar el lazo de control implementado en dicho microcontrolador. Una vez alcanzado el ángulo objetivo, el Arduino envía una confirmación a la interfaz gráfica, indicando que la posición fue alcanzada correctamente, lo que permite notificar al operario. Esta llegada también podría ser validada en la pantalla del goniómetro.

Figura 13. Interfaz



La descripción detallada del funcionamiento, operación, datos sobre la programación, detalles de diseño y forma de uso se encuentra en el documento el segundo documento adjunto “Ficha técnica de mesa grados”.

Tareas a realizar para cumplir con los objetivos (enumeración): de la tarea 1 a la tarea 4 se describe el desarrollo del proyecto 1: “Desarrollo de software de control para anodizado y electropulido”. De la tarea 5 a la tarea 9 se describe el desarrollo del proyecto 2: “Automatización de cuarto y quinto eje para fresadora con mesas de grados”. De la tarea 10 a la tarea 12 se describe la documentación requerida para la empresa.

- *Tarea 1:* reunir y analizar los requisitos específicos para el registro de información, incluyendo los tipos de datos que deben registrarse (fecha, hora, operario, proceso aplicado, referencia invima).

- *Tarea 2:* crear funciones o módulos que permitan la inserción de datos en los archivos planos, asegurando que los registros sean precisos y consistentes. Desarrollar funciones para leer, procesar y consultar los datos, permitiendo la extracción de información relevante.
- *Tarea 3:* definir una estructura de carpetas y establecer una convención de nombres para los archivos planos, facilitando la organización y el acceso a la información.
- *Tarea 4:* proporcionar formación a los operarios y administradores sobre el uso del sistema de registro, incluyendo el acceso, interpretación y gestión de los archivos planos. Establecer un plan para la resolución de problemas, actualizaciones y mantenimiento del sistema. Monitorear su funcionamiento para asegurar su correcto desempeño a lo largo del tiempo.
- *Tarea 5:* construir un prototipo basado en el diseño aprobado, incorporando los componentes necesarios para el mecanismo de posicionamiento. Asegurar que el prototipo esté fabricado con materiales de alta calidad para las pruebas iniciales. Utilizar software de diseño asistido por computadora (CAD) para desarrollar el diseño del mecanismo de posicionamiento angular, incluyendo servomecanismos, motores y sensores de posición para garantizar precisión y control.
- *Tarea 6:* realizar pruebas exhaustivas para verificar la funcionalidad del prototipo en condiciones simuladas. Evaluar la precisión, velocidad de ajuste y estabilidad del mecanismo.
- *Tarea 7:* instalar los mecanismos automatizados en las mesas angulares de la línea de producción. Integrar el sistema con los equipos existentes y realizar las configuraciones iniciales para asegurar su compatibilidad. Ofrecer formación técnica al personal sobre el uso y mantenimiento del nuevo sistema, así como manuales de usuario y guías de solución de problemas.

- *Tarea 8:* supervisar el desempeño del sistema durante las primeras fases de operación para identificar posibles problemas o áreas de mejora. Recopilar datos sobre tiempos de ajuste, precisión y eficiencia. Realizar ajustes basados en los resultados obtenidos para optimizar el rendimiento del sistema e implementar mejoras en el diseño o en los parámetros operativos según sea necesario.
- *Tarea 9:* realizar revisiones periódicas del sistema para evaluar su desempeño a largo plazo. Analizar los datos acumulados y la retroalimentación del personal para identificar nuevas oportunidades de mejora.
- *Tarea 10:* examinar los procesos actuales de anodizado, electropulido y mecanizado, incluyendo flujos de trabajo, equipos utilizados y resultados obtenidos. Recopilar datos operativos y de rendimiento de cada proceso (tiempos de ciclo, tasas de defectos, costos asociados, entre otros). Analizar los procedimientos vigentes para detectar oportunidades de optimización.
- *Tarea 11:* desarrollar procedimientos que aborden las ineficiencias detectadas y optimicen los procesos de anodizado, electropulido y mecanizado. Colaborar con expertos en cada área para validar la efectividad y viabilidad de los nuevos procedimientos. Realizar pruebas piloto para validar su implementación y, posteriormente, aplicar las soluciones mejoradas en la producción, asegurando una transición fluida y minimizando las interrupciones. Ajustar los procesos según sea necesario para lograr una optimización continua.
- *Tarea 12:* desarrollar documentación técnica que describa los nuevos procedimientos, equipos y métodos de trabajo. Redactar manuales de usuario con instrucciones claras y detalladas sobre la operación y el mantenimiento de los nuevos procedimientos y equipos.

Proporcionar formación al personal para asegurar la correcta implementación de los nuevos procedimientos y el uso adecuado de los manuales.

## **6. Resultados**

Primer proyecto: los resultados obtenidos fueron conformes a los requerimientos establecidos por la empresa. Se dotó al sistema de una estructura óptima para la organización de la información, lo cual permitió mejorar los tiempos de operación. Se implementaron listas desplegables para la selección de configuraciones, manteniendo coherencia con la documentación interna de manufactura, con el fin de evitar confusiones por parte del operario.

A la fecha, el software lleva cuatro meses en funcionamiento, con un desempeño satisfactorio. Solo se presentó un inconveniente menor relacionado con el arranque del programa cuando la fuente Matsusada no se encontraba conectada. Este problema se debía al escaneo de puertos que realizaba el sistema antes de mostrar la lista desplegable. En ausencia del dispositivo, se generaba un conflicto que provocaba el cierre del programa sin mostrar mensaje de error. Esta situación fue corregida: actualmente, la interfaz notifica adecuadamente si el controlador RS232 con convertidor USB está o no conectado al equipo.

Fuera de este incidente, la trazabilidad del uso, tiempos de operación e identificación del operario en relación con el producto intervenido ha sido registrada exitosamente. Esta información está disponible en todo momento para el personal autorizado. Además, se incorporó un sistema de seguridad mediante PIN, que restringe la edición, eliminación o creación de nuevas configuraciones, protegiendo así la integridad de los datos almacenados.

Finalmente, el mismo software fue empleado para la puesta en marcha de un inductor de calor utilizado en el calentamiento de placas para el proceso de entorchado y doblado. Este

requería valores específicos de corriente y voltaje para operar de forma segura. El sistema funcionó correctamente, almacenando configuraciones de tiempo, voltaje y corriente máxima, demostrando su versatilidad para apoyar otros procesos de manufactura relacionados con implantes quirúrgicos.

Segundo proyecto: como resultado del desarrollo de este proyecto, se verificó que el sistema cumple con los requisitos funcionales propuestos, en particular en cuanto al desplazamiento angular controlado de la mesa. El mecanismo demostró ser capaz de generar la fuerza necesaria para realizar el movimiento de forma continua y sin sobresaltos, condición fundamental para garantizar la correcta respuesta del control proporcional implementado en el microcontrolador Arduino.

Uno de los logros destacados fue la integración de un goniómetro digital, validado como una solución práctica y eficiente frente a un desafío técnico complejo: la presencia de armónicos generados por uno de los motores, los cuales interfieren con los optoacopladores y la comunicación I2C del sensor MPU6050. Dado que la conexión directa al Arduino resultaba inviable por estas interferencias, se optó por una solución inalámbrica basada en un microcontrolador ESP32-C3 Mini, cuya arquitectura compacta y conectividad integrada se ajustaron a los requerimientos del sistema.

Para mejorar la usabilidad, se incorporó un botón físico que permite establecer una posición cero (referencia angular), almacenada en la memoria interna del microcontrolador, asegurando su persistencia incluso tras el apagado del equipo. Esta función fue validada en condiciones reales de operación, mostrando un comportamiento confiable y estable.

En cuanto a las interferencias electromagnéticas, se comprobó que la implementación de optoacopladores eliminó los parpadeos en pantalla observados durante la operación del motor.

Adicionalmente, se incorporaron capacitores de desacoplo en las líneas de entrada y salida de los drivers de potencia, y se ajustó la frecuencia de la señal PWM generada por el Arduino, interviniendo los registros internos (timers) del microcontrolador ATmega2560. Esta modificación permitió desplazar la frecuencia de conmutación, reduciendo significativamente la generación de armónicos.

Las funcionalidades de seguridad y monitoreo visual también fueron validadas. A partir de la lectura angular, se calculó la distancia entre el carro de desplazamiento y el motor, representada mediante un indicador de tres colores (zona segura, advertencia y crítica). Esta visualización permite al operario identificar el estado del sistema de forma intuitiva, aumentando el nivel de atención durante momentos clave de operación.

Respecto a la interacción con el usuario, se validó el uso de la pantalla táctil incorporada en la interfaz. Sin embargo, se habilitó también un teclado físico como respaldo, garantizando la continuidad operativa ante posibles fallos del panel táctil, lo cual responde a criterios de robustez y mantenibilidad.

## **7. Conclusiones**

Los resultados alcanzados en ambos proyectos evidencian que se cumplieron plenamente los requerimientos establecidos por la empresa, entregando soluciones funcionales, estables y adaptables a otros procesos de manufactura. Más allá del cumplimiento técnico, los desarrollos demostraron ser puntos de partida robustos para futuras mejoras e implementaciones.

Durante la ejecución se presentaron desafíos técnicos relevantes, que exigieron decisiones creativas y adaptaciones inmediatas al diseño inicial. Esta necesidad de flexibilidad,

sin comprometer los objetivos finales, resalta una realidad clave en el desarrollo de prototipos industriales: la capacidad de responder eficazmente ante condiciones cambiantes.

Una observación importante fue la limitación de metodologías ágiles como SCRUM cuando los plazos de entrega son extremadamente ajustados. Si bien SCRUM aporta estructura y seguimiento, su aplicación rígida puede restar agilidad operativa en entornos donde se requiere inmediatez y toma de decisiones técnica rápida. Este hallazgo abre la puerta a discutir qué enfoques metodológicos son realmente eficaces en contextos de desarrollo de hardware y prototipos funcionales.

En el aspecto de software, se comprobó que la programación multihilo es esencial para garantizar una interfaz gráfica fluida y responsiva. No obstante, su implementación requiere una gestión cuidadosa del orden de ejecución, sobre todo en sistemas donde los hilos crecen en número o son heredados. Esta complejidad plantea interrogantes sobre los límites técnicos y prácticos del uso de hilos en sistemas embebidos con recursos limitados.

Finalmente, la experiencia de trabajo en una empresa con altos estándares técnicos y estéticos fue clave para el crecimiento profesional del practicante. No solo se reforzaron conocimientos de ingeniería y diseño, sino que se comprendió mejor el valor del trabajo colaborativo, la comunicación efectiva y la adaptabilidad como pilares del desarrollo tecnológico.

## **8. Recomendaciones**

A partir de la experiencia obtenida durante el desarrollo e implementación de los proyectos, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a optimizar el desempeño del sistema, prolongar la vida útil de sus componentes y facilitar futuras mejoras:

Rediseño del goniómetro digital: se sugiere mejorar la carcasa actual incorporando materiales livianos con propiedades ferromagnéticas, lo que permitiría fijaciones mediante imanes y brindaría mayor protección estructural frente a impactos.

Mantenimiento de la fuente de alimentación: realizar inspecciones periódicas para garantizar un suministro estable y prevenir fallos derivados del desgaste de componentes.

Reemplazo del motor generador de armónicos: sustituir el motor que introduce interferencias por otro modelo con menor emisión de ruido eléctrico, mejorando así la estabilidad del sistema.

Conservación de la pantalla táctil: mantener la superficie limpia y evitar el contacto con manos contaminadas por grasa o refrigerante, preservando su sensibilidad y durabilidad.

Respaldo de la trazabilidad: implementar copias de seguridad semestrales de los registros generados por el sistema para proteger la integridad de los datos sin afectar la operación.

Integración con otros sistemas de registro: vincular el módulo de trazabilidad con plataformas existentes de control de tiempos, evitando registros duplicados y reduciendo la carga operativa del personal.

### Referencias

[1] S. Sastoque, C. Narváez, y G. Garnica, Metodología para la construcción de interfaces gráficas centradas en el usuario (Tesis de grado), Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2016.

[2] Keyence Corporation, Fundamentos de medición, Japón: Keyence Corporation, s.f.

[3] D. Montoya, Mitigación del nivel de armónicos en un sistema eléctrico industrial mediante un filtro de armónico pasivo (Tesis de grado), Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2016.

[4] J. M. H. López, Funcionalización superficial de aleaciones de titanio mediante anodizado para aplicaciones biomédicas (Tesis doctoral), Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 2015.

[5] B. F. Cepeda Waltero y O. J. Torres Chaparro, Implementación de procesos por electropulido de acero inoxidable (Trabajo académico), Instituto Técnico Central – Establecimiento Público de Educación Superior, Bogotá, Colombia, 2015.

[6] N. Forero, "Normas de comunicación en serie: RS-232, RS-422 y RS-485," Ingenio, Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre, no. 86, p. 6, 2012.