



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

EXPERIENCIA DE ACTUALIZACIÓN  
TECNOLÓGICA DE UN ROBOT  
CARTESIANO XYZ EN EL CURSO DE  
ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA  
CARRERA DE ELECTROTECNIA  
INDUSTRIAL SENATI AREQUIPA, 2019

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA  
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
DOCENCIA PROFESIONAL TECNOLÓGICA

FERNANDO AVELINO HUAMAN  
ALARCON

LIMA – PERÚ

2026



**ASESOR**

**MG. ALEJANDRO CHARRE MONTOYA**

**JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

MG. JAMINE AMANDA POZU FRANCO

PRESIDENTE

MG. MARINA FANY POBLETE ROBLES

VOCAL

MG. MAURICIO ZEBALLOS VELARDE

SECRETARIO (A)

### **DEDICATORIA.**

A mi querida familia, que inspiran en mí el  
esfuerzo y el amor.

### **AGRADECIMIENTOS.**

A Dios, y a todos aquellos que de una u otra  
manera contribuyeron a este trabajo.

### **FUENTES DE FINANCIAMIENTO.**

Trabajo de investigación Autofinanciado.

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	HUAMAN ALARCON FERNANDO AVELINO

*(Agregar filas adicionales si hay más autores)*

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN DOCENCIA PROFESIONAL TECNOLÓGICA**, autores del trabajo titulado: **EXPERIENCIA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE UN ROBOT CARTESIANO XYZ EN EL CURSO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA CARRERA DE ELECTROTECNIA INDUSTRIAL SENATI AREQUIPA, 2019**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN DOCENCIA PROFESIONAL TECNOLÓGICA** bajo la modalidad de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	CHARRE MONTOYA ALEJANDRO	FAEDU	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **6%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2887287962**; fecha de entrega: **24-02-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 24 de febrero de 2026**



Firma del asesor  
N° DNI: 09228530  
ORCID: 0009-0009-5177-8641

Firma del Co-asesor  
N° DNI: .....  
ORCID: .....

## ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCION .....	1
1.1. Marco contextual del estudio .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.2.1. Antecedentes nacionales .....	2
1.2.2. Antecedentes Internacionales .....	6
1.3. Marco teórico, definiciones conceptuales .....	9
1.3.1. Actualización tecnológica .....	9
1.3.2. Robot cartesiano XYZ.....	9
1.3.3. Curso de electrónica de potencia.....	12
1.4. Planteamiento del problema.....	14
1.5. Justificación del estudio .....	17
1.6. Pregunta de investigación .....	18
II. OBJETIVOS .....	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos .....	19
III. DESARROLLO DEL ESTUDIO .....	20
3.1. Método, Técnicas e instrumentos de análisis de la experiencia .....	20
3.1.1. Fases o etapas del estudio de sistematización .....	20
3.1.2. Técnicas, fuentes e instrumentos para el recojo de datos.....	22
3.1.3. Organización y procesamiento de los datos .....	24
3.1.4. Consideraciones éticas .....	25
3.2. Descripción de la experiencia .....	25
3.2.1. Situación inicial de la experiencia.....	25
3.2.2. Actividades estratégicas de la experiencia.....	27
1. Diagnóstico Técnico.....	28
a) Identificación de fallas del sistema de control .....	28
b) Identificación del estado mecánico.....	29
2. Planificación Técnica .....	30
a) Selección del sistema CNC .....	30

b) Selección del hardware (Arduino) .....	31
c) Software GRBL.....	31
3. Implementación del Sistema .....	32
a) Instalación y conexión de componentes y ajustes.....	32
4. Validación y Pruebas.....	33
a) Carga de G-code y validación funcional.....	33
5. Resultados y Uso.....	34
a) Máquina CNC en uso en prácticas educativas .....	34
b) Guía didáctica de uso .....	35
3.3. Resultados de la experiencia.....	35
3.4. Aspectos que facilitaron o dificultaron llevar a cabo la experiencia .....	36
3.4.1. Aspectos que facilitaron la experiencia.....	36
3.4.2. Aspectos que dificultaron la experiencia .....	38
3.5. Lecciones aprendidas y aportes de la experiencia .....	39
IV. CONCLUSIONES .....	42
V. RECOMENDACIONES .....	44
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
VII. ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Estructura curricular de la carrera de electrotecnia industrial, cuarto semestre</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Contenido Curricular del Curso de Electrónica de Potencia Semana 9 a 11 (15 Horas)</i> .....	14
<b>Tabla 3</b> <i>Fases de la experiencia de actualización tecnológica del robot XYZ. ...</i>	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Robot cartesiano XYZ</i> .....	11
Figura 2 <i>Fases en la actualización tecnológica del robot cartesiano XYZ</i> .....	17
Figura 3 <i>Secuencia de sistematización de experiencias</i> .....	22
Figura 4 <i>Sistema de control original y drivers de potencia correspondiente a los ejes XYZ del robot cartesiano</i> .....	29
Figura 5 <i>Sistema mecánico de los ejes XYZ del robot y motores paso a paso</i> .....	30
Figura 6 <i>Conectividad del sistema de control basado en arduino y motores PAP compatible con las señales del firmware GRBL.</i> .....	33
Figura 7 <i>Robot cartesiano XYZ actualizado con sistema de control basado en Arduino</i> .....	34

## **RESUMEN**

El presente estudio aborda la experiencia de actualización tecnológica de un robot cartesiano XYZ para ser usado como recurso didáctico en el curso de Electrónica de Potencia en la carrera de Electrotecnia Industrial del SENATI Arequipa, llevado a cabo en el año 2019. El propósito principal fue modernizar un equipo didáctico, para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en temas relacionados con el control de motores paso a paso y control de movimiento de acuerdo con el contenido curricular del curso. El proyecto se llevó a cabo en las siguientes fases: diagnóstico del sistema original, diseño del nuevo sistema de control, la selección de componentes de potencia y la implementación física y programación del robot XYZ. Como resultado, se logró la reingeniería del sistema de control del robot, reemplazando componentes obsoletos por un control CNC basado en Arduino, software GRBL y G-Code. Lo cual permitió la puesta en marcha exitosa del robot, demostrando movimientos precisos en sus tres ejes.

La investigación se desarrolló utilizando un enfoque cualitativo y descriptivo basado en el diseño de sistematización de experiencias, recuperando la experiencia de implementación de un equipo didáctico funcional que permitió a los estudiantes del curso analizar y aplicar conceptos de control de motores paso a paso y drivers de potencia; además de una mayor motivación estudiantil.

Se concluye que la actualización tecnológica es posible de llevar a cabo cuando hay iniciativa y participación activa de los actores educativos lo cual contribuye a la mejora significativa del proceso formativo, adaptándolo a las exigencias de la industria. Se recomienda replicar este tipo de experiencias en otros

módulos, promoviendo el uso eficiente de recursos existentes mediante la innovación técnica y pedagógica.

### **PALABRAS CLAVE**

Robot cartesiano XYZ, actualización tecnológica, electrónica de Potencia.

## **ABSTRACT**

This study addresses the technological upgrade of an XYZ Cartesian robot for use as a teaching resource in the Power Electronics course within the Industrial Electrotechnics program at SENATI Arequipa, carried out in 2019. The main purpose was to modernize a teaching tool to improve the teaching and learning process in topics related to stepper motor control and motion control, in accordance with the course curriculum. The project was carried out in the following phases: diagnosis of the original system, design of the new control system, selection of power components, and physical implementation and programming of the XYZ robot. As a result, the robot's control system was re-engineered, replacing obsolete components with a CNC controller based on Arduino, GRBL software, and G-code. This allowed for the successful commissioning of the robot, demonstrating precise movements on all three axes.

The research was conducted using a qualitative and descriptive approach based on the systematization of experiences, drawing on the experience of implementing a functional educational device that allowed students in the course to analyse and apply concepts of stepper motor control and power drivers, as well as increasing student motivation.

It is concluded that technological updating is possible when there is initiative and active participation from educational stakeholders, which contributes to a significant improvement in the training process, adapting it to the demands of industry. It is recommended that this type of experience be replicated in other modules, promoting the efficient use of existing resources through technical and pedagogical innovation.

## **KEYWORDS**

XYZ Cartesian robot, technological upgrade, power electronics.

## **I. INTRODUCCION**

### **1.1. Marco contextual del estudio**

Actualmente, la industria manufacturera contemporánea exige profesionales con dominio de automatización, control de movimiento y electrónica de potencia, áreas fundamentales en el desarrollo de procesos eficientes y flexibles (González & Ramírez, 2019). En esta realidad productiva, los robots cartesianos desempeñan un papel relevante en aplicaciones como impresión 3D, CNC, manipulación de materiales y sistemas de ensamblaje.

En el ámbito de la formación profesional, los equipos didácticos disponibles suelen presentar obsolescencia tecnológica, lo que limita el aprendizaje práctico alineado con la realidad industrial. En este contexto, en el curso de Electrónica de Potencia de la carrera de Electrotecnia Industrial del SENATI, donde los estudiantes adquieren competencias en el diseño, análisis y aplicación de sistemas electrónicos de control, surgió la necesidad de la actualización tecnológica de un robot cartesiano XYZ, para ser utilizado como recurso didáctico en los laboratorios de enseñanza aprendizaje, la cual se llevó a cabo con éxito.

La actualización del robot cartesiano XYZ consistió en la implementación de nuevos controladores, drivers de potencia, software de control abierto como GRBL y sistemas de interfaz modernos, con el fin de garantizar un aprendizaje más cercano a los requerimientos de la industria 4.0. Este proceso contribuyó a fortalecer el desarrollo de competencias en el manejo de motores y servomotores, así como en la integración de hardware y software aplicado al control de movimiento.

En relación con lo expuesto, el estudio propone dar cuenta de la modernización de los equipos didácticos que cumplen un rol fundamental en dos dimensiones:

- Formativa, al mejorar los recursos disponibles para la enseñanza práctica de la electrónica de potencia aplicada.
- Tecnológica, al permitir la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras aplicables tanto en el ámbito académico como en el industrial.

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Antecedentes nacionales**

Vásquez (2018). En Diseño y construcción de un robot cartesiano XYZ para prácticas de control industrial en la carrera de Mecatrónica, estudio llevado a cabo en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. se enfoca en el diseño y construcción de un robot cartesiano XYZ para ser utilizado como herramienta educativa en prácticas de control industrial en la carrera de Mecatrónica. El robot fue desarrollado con la intención de facilitar la comprensión de los principios de movimiento y control en los tres ejes espaciales, permitiendo a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en un entorno práctico. La investigación aborda los componentes mecánicos, electrónicos y de software necesarios para implementar el robot, destacando la importancia de sistemas de control modernos para garantizar precisión y confiabilidad. Durante el desarrollo, se utilizó un microcontrolador para gestionar el movimiento y sensores para retroalimentación, lo que permitió mejorar la estabilidad y repetitividad de las posiciones alcanzadas por el robot. Además, se

realizó una evaluación de desempeño en la que se comprobó que el robot cumple con los requisitos de precisión y velocidad para prácticas educativas. El trabajo resalta la necesidad de actualizar los sistemas de control en equipos educativos, ya que los sistemas obsoletos limitan la funcionalidad y el aprendizaje activo. Concluye que la implementación de un robot cartesiano XYZ moderno promueve una mejor experiencia de aprendizaje, preparando a los estudiantes para enfrentar retos industriales con tecnologías actuales.

Huamán (2020). En su tesis Implementación de un sistema de control CNC en un robot cartesiano para automatización educativa en SENATI Lima, describe el proceso de modernización de un robot cartesiano utilizado en cursos técnicos de automatización en SENATI Lima. La investigación parte de la necesidad de sustituir el control manual y obsoleto por un sistema CNC que permita programar el robot de forma más precisa y flexible. Se realizó un diagnóstico de la infraestructura existente y se seleccionaron componentes compatibles con la tecnología CNC actual, como controladores, motores paso a paso y software de control. El proceso de implementación incluyó la instalación física, configuración de parámetros y desarrollo de rutinas de programación para que los estudiantes pudieran manejar el robot mediante código G. Además, se realizaron pruebas para verificar la precisión, velocidad y repetibilidad del sistema modernizado, demostrando mejoras significativas en comparación con el sistema original. Se destacan las ventajas pedagógicas, ya que el robot actualizado permite que los estudiantes entiendan mejor la programación CNC, familiarizándose con una tecnología estándar en la industria. La investigación concluye que la modernización

de equipos en entornos educativos es fundamental para mantener la relevancia del currículo y fomentar la inserción laboral de los egresados.

Quispe (2019). En el estudio Modernización de un posicionador XYZ con control obsoleto mediante integración de controladores programables en el Instituto Superior Tecnológico San Juan Bautista, detalla la modernización de un posicionador XYZ con control anticuado en el Instituto Superior Tecnológico San Juan Bautista, con el objetivo de extender su vida útil y mejorar su funcionalidad para actividades educativas. Se propone la integración de controladores programables (PLC y CNC) y nuevos actuadores para optimizar el desempeño del equipo. La investigación contempla la revisión mecánica, electrónica y de software, seleccionando componentes que permitan compatibilidad con sistemas modernos y fácil mantenimiento. Durante la fase de implementación, se adaptaron nuevos drivers y motores paso a paso, además de desarrollar un software de control personalizado que facilite la programación y operación por parte de estudiantes y docentes. El estudio también realiza un análisis de la mejora en parámetros técnicos como la precisión, velocidad y estabilidad, comparándolos con el estado previo del posicionador. En la parte pedagógica, se señala que la actualización tecnológica facilita la enseñanza de conceptos avanzados de control y automatización, beneficiando a los estudiantes con herramientas más cercanas a la realidad industrial. Finalmente, se concluye que el retrofit tecnológico representa una alternativa viable y económica para instituciones educativas que buscan mantener la competitividad y calidad en la formación técnica.

García (2017). En su trabajo de investigación Desarrollo de un sistema de control basado en Arduino para robot cartesiano XYZ aplicado en laboratorios de

electrónica industrial, Instituto Tecnológico Peruano presenta el desarrollo de un sistema de control para un robot cartesiano XYZ basado en la plataforma Arduino, con el objetivo de ofrecer una solución de bajo costo y flexible para la enseñanza en laboratorios de electrónica industrial. La investigación detalla la selección de componentes electrónicos, diseño de circuitos, programación en lenguaje C/C++ y la integración del sistema para controlar los motores paso a paso del robot. Se destaca el uso de Arduino por su accesibilidad y comunidad activa, lo que facilita la personalización y mejora continua del sistema. En las pruebas realizadas, el robot demostró capacidad para realizar movimientos precisos y repetibles, con una interfaz amigable para que los estudiantes puedan programar trayectorias simples y entender el funcionamiento de sistemas de control. Además, se evidencia que la solución es adaptable a distintos niveles de complejidad, permitiendo a los docentes diseñar actividades progresivas. El estudio subraya que la adopción de tecnologías accesibles como Arduino contribuye a la modernización educativa, optimizando recursos y fomentando el aprendizaje activo y experimental en carreras técnicas.

Torres (2021). En Evaluación del impacto de la automatización mediante robots cartesianos XYZ en la formación técnica profesional en SENATI Arequipa analiza la experiencia de implementación y modernización de robots cartesianos XYZ en SENATI Arequipa, enfocándose en su impacto en la formación técnica profesional en carreras relacionadas con la electrotecnia y electrónica de potencia. La investigación incluye un diagnóstico del equipamiento inicial, caracterizado por sistemas de control anticuados y limitaciones en precisión y programación. Se documenta el proceso de actualización tecnológica, que abarcó la incorporación de controladores CNC, motores servomotores y software compatible, así como la

capacitación de docentes y estudiantes para maximizar el aprovechamiento del nuevo sistema. Se aplicaron encuestas y pruebas de desempeño para evaluar el efecto de la modernización en la adquisición de competencias técnicas y la motivación de los estudiantes. Los resultados mostraron un incremento significativo en la calidad del aprendizaje, reflejado en la capacidad para programar, operar y mantener sistemas automatizados con tecnología vigente. Además, se destaca la importancia de alinear los recursos educativos con las exigencias del mercado laboral, lo que contribuye a mejorar la empleabilidad de los egresados. La investigación concluye que la actualización tecnológica en SENATI Arequipa representa un modelo replicable para otras instituciones técnicas que buscan fortalecer la formación profesional mediante la innovación.

### **1.2.2. Antecedentes Internacionales**

Al-Maeeni y Al-Bahadili (2020). En *Smart retrofitting of machine tools in the context of Industry 4.0*. aborda la modernización de máquinas herramientas tradicionales mediante la incorporación de tecnologías inteligentes en el marco de la Industria 4.0. Los autores proponen un enfoque para la actualización tecnológica de sistemas obsoletos, como robots cartesianos, a través de la integración de controladores CNC modernos y sistemas de monitoreo en tiempo real. El estudio se enfoca en la mejora de la precisión, eficiencia y flexibilidad de los equipos, permitiendo su adaptación a procesos automatizados y conectados en red. Se presentan casos de estudio donde máquinas con sistemas de control antiguos fueron *retrofitadas* con hardware y software avanzados, mejorando significativamente su desempeño y capacidad de interacción con plataformas digitales. Además, el

artículo destaca la importancia de esta modernización para mantener la competitividad industrial y la relevancia educativa en la formación de técnicos y profesionales que trabajen con tecnologías emergentes. Los resultados evidencian que la implementación de tecnologías CNC modernas en máquinas tradicionales facilita la transición hacia ambientes de producción inteligentes y altamente automatizados, con beneficios tanto en la calidad de los procesos como en la capacitación práctica de estudiantes.

Słowik et ál. (2023). En *Manufacturing equipment retrofitting towards Industry 4.0 standards. Engineering Management in Production and Services* examina la modernización de equipos de manufactura para alinearlos con los estándares de la Industria 4.0, enfatizando la actualización de sistemas de control y la incorporación de tecnologías digitales. Se analizan estrategias para *retrofit* de máquinas tradicionales, incluyendo robots cartesianos, con el fin de dotarlas de capacidades como conectividad IoT, automatización avanzada y análisis de datos. La investigación presenta un marco metodológico para evaluar el estado actual de los equipos, seleccionar tecnologías compatibles y llevar a cabo una integración eficiente. Se discuten los desafíos técnicos y económicos del proceso, así como los beneficios en términos de productividad, calidad y flexibilidad de producción. Además, el estudio destaca el impacto positivo en la formación técnica, ya que la exposición a equipos modernizados prepara a los estudiantes para los requerimientos tecnológicos actuales. El artículo concluye que la modernización orientada a Industria 4.0 es fundamental para prolongar la vida útil de los equipos y mejorar la competitividad tanto en la industria como en la educación técnica.

Lins y Guerreiro (2019). En *A novel methodology for retrofitting CNC machines based on the context of Industry 4.0. Journal of Manufacturing Systems* propone una metodología innovadora para la actualización tecnológica de máquinas CNC en el contexto de la Industria 4.0. El enfoque se basa en la evaluación integral de las máquinas existentes, identificando componentes obsoletos y definiendo soluciones tecnológicas para su renovación. Se enfatiza el uso de sistemas de control abiertos, integración de sensores inteligentes y conectividad para facilitar la recopilación y análisis de datos en tiempo real. La investigación presenta un caso práctico de modernización de un robot cartesiano XYZ, donde se reemplazó un sistema de control analógico por un controlador CNC programable, permitiendo una mayor precisión y flexibilidad en las operaciones. Se destacan los beneficios en términos de eficiencia operativa, reducción de tiempos de configuración y mejora en la calidad del producto final. También se discuten los retos técnicos de la integración y la necesidad de capacitar al personal para operar las tecnologías avanzadas. El estudio concluye que la metodología propuesta es efectiva para adaptar máquinas tradicionales a los requerimientos de la Industria 4.0, facilitando su uso en entornos educativos y productivos modernos.

Huang y Mak (2018). En *Retrofitting legacy robots for modern manufacturing environments: A review and case study. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* revisa los métodos y desafíos asociados con la modernización de robots industriales legados, incluyendo robots cartesianos, para su uso en entornos de manufactura modernos. Se analizan aspectos técnicos como la actualización de sistemas de control, integración de nuevos sensores, interfaces de usuario mejoradas y compatibilidad con software moderno. Se presenta un caso

de estudio donde un robot cartesiano fue *retrofitado* con un sistema de control CNC y sensores inteligentes, lo que permitió mejorar significativamente su desempeño y adaptabilidad a procesos de producción flexibles. El artículo destaca que esta actualización no solo extiende la vida útil del equipo, sino que también reduce costos en comparación con la compra de maquinaria nueva. Además, se discuten las implicancias educativas de estos procesos, señalando que permiten a las instituciones formar a estudiantes en tecnologías contemporáneas mediante el uso de equipos modernizados. Finalmente, se concluye que la modernización es una estrategia efectiva para la sostenibilidad y competitividad en manufactura y educación técnica.

### **1.3. Marco teórico, definiciones conceptuales**

#### **1.3.1. Actualización tecnológica**

La actualización tecnológica de acuerdo con García-Sánchez et al. (2019) consiste en la incorporación de nuevas tecnologías a los procesos, equipos o instalaciones existentes para mejorar su rendimiento, eficiencia o adaptabilidad a los cambios del entorno productivo.

Según Groover (2020), la modernización de equipos incluye no solo la sustitución de maquinaria obsoleta, sino también la mejora de componentes específicos a través de sistemas automatizados, sensores inteligentes o software de control avanzado.

#### **1.3.2. Robot cartesiano XYZ**

Los robots cartesianos, también conocidos como robots de coordenadas rectangulares o manipuladores lineales, son sistemas mecatrónicos que operan en

tres ejes lineales perpendiculares entre sí: X, Y, Z. Este tipo de arquitectura robótica se basa en un sistema de coordenadas cartesianas, lo que permite movimientos precisos en líneas rectas a lo largo de cada eje (Craig, 2005). Debido a su simplicidad estructural y facilidad de control, los robots cartesianos son ampliamente utilizados tanto en aplicaciones industriales como en entornos educativos y de formación técnica.

Un robot cartesiano se compone, típicamente, de una estructura mecánica rígida con guías lineales para cada eje, motores de accionamiento (generalmente servomotores o motores paso a paso), elementos de transmisión como husillos, correas o cremalleras, sensores de posición (*encoders*, finales de carrera), y una unidad de control. Este tipo de robot se caracteriza por su alta precisión en tareas de posicionamiento, facilidad para programar trayectorias rectilíneas y bajo nivel de complejidad en la cinemática (Groover, 2012).

Estos equipos para su posicionamiento en los tres ejes mencionados tienen motores paso a paso los cuales son accionados por circuitos electrónicos de potencia denominados “drivers” uno por cada eje, existen por lo menos tres secuencias de control que se envían a estos drivers conectados a los motores paso a paso. Los motores paso a paso poseen cuatro entradas correspondientes a dos bobinas las cuales se van activando en forma secuencial y alternando su polaridad por medio de los drivers de potencia. Finalmente es importante precisar que los motores paso a paso se activan por medio de pulsos a una frecuencia tal que hace que los motores giran con una resolución de 1.8 grados precisando 200 impulsos para realizar una vuelta o revolución completa.

Un control moderno de estas máquinas consiste en convertir un archivo normalmente DXF y generar el código G el cual se envía a un controlador basado en Arduino mediante programas como GRBL o Mach3 los cuales generan pulsos de movimiento y sentido de giro hacia los drivers de potencia que accionan los motores de acuerdo con la frecuencia de los pulsos de movimiento. En esencia, se tiene una máquina que es la base para realizar funciones como taladrado de piezas, cortadoras laser y plasma, así como maquinas fresadoras.

**Figura 1**

*Robot cartesiano XYZ*



### **1.3.3. Curso de electrónica de potencia**

Este curso se aplica en el cuarto semestre de la especialidad de electrotecnia industrial en el cuarto semestre. En el año 2019 se aplicaba en 19 semanas de dictado y dos semanas de evaluaciones haciendo un total de 21 semanas. En la actualidad se desarrolla en 16 semanas. Este curso tiene como objetivo montar y probar circuitos de control de dispositivos electrónicos de potencia. (SENATI, 2019).

La electrónica de potencia es una rama de la ingeniería electrónica que se encarga del procesamiento, conversión y control eficiente de la energía eléctrica mediante dispositivos electrónicos. En el contexto de un robot cartesiano, la electrónica de potencia permite controlar con precisión el movimiento de los ejes mediante la regulación de parámetros eléctricos como voltaje, corriente y frecuencia. Como se observa en la Tabla 1 el curso de electrónica de potencia se dictaba en 21 semanas, con una duración de 5 horas semanales, en total siendo 19 semanas de dictado y 2 de evaluaciones.

**Tabla 1***Estructura curricular de la carrera de electrotecnia industrial, cuarto semestre*

Materia-Curso	Curso	Teoría	Labo-ratorio	Sub total
SGAU-222	Sociedad y economía	63		63
SINU-112	Computación e informática		105	105
EETT-422	Electrónica de potencia	32	73	105
EETT-423	Mantenimiento de sistemas electrotécnicos	32	73	105
EETT-424	Redes eléctricas y comunicaciones	38	88	126
EETT-425	Electrónica de control	38	88	126
EETT-427	Formación práctica en empresa I		336	336
Total, de horas				966

*Nota:* De SENATI (2019). Estructura curricular, p. 15

De acuerdo con la Tabla 2, el curso de electrónica de potencia codificado como EETT-422 tiene el contenido de tecnología y tareas de aprendizaje relacionado a motores PAP que se desarrolla en tres semanas. Donde es importante observar que se considera el ensamble de un posicionador unidimensional con motores paso a paso lo que dio origen a la importancia de desarrollar o contar con una máquina que permitiera realizar las tareas de aprendizaje de una manera integral y comprender el funcionamiento de los motores paso a paso y la electrónica de control, en condiciones reales de funcionamiento.

**Tabla 2**

*Contenido Curricular del Curso de Electrónica de Potencia Semana 9 a 11 (15 Horas)*

Contenidos de aprendizaje	
Proyectos / Tareas de aprendizaje	Tecnología / Ciencias aplicadas
Armar circuito de control de motor paso a paso	Funcionamiento y características de motores paso a paso:
Armar la interface de potencia para el motor paso a paso	- Motores paso a paso
Ensamblar posicionador unidimensional	- Paso completo
	- Medio paso
	- Interfaz de potencia
	- Posicionadores

*Nota:* De SENATI (2019). Contenido curricular, p. 32

En el contexto de la materia de investigación es importante ensamblar un posicionador de un eje o unidimensional para que los alumnos aprendan de una manera práctica cómo se interrelacionan los diferentes elementos que la conforman, para comprender el control de movimiento y las diferentes aplicaciones en la automatización industrial para el control con pocos márgenes de error, alta precisión y velocidad.

#### **1.4. Planteamiento del problema**

El Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (SENATI) es una institución de formación profesional tecnológica, cuyo fin es formar técnicos con habilidades para desempeñarse eficientemente en el mercado laboral y capacitar a trabajadores para que puedan estar actualizados en las nuevas

tecnologías que demanda las diferentes especialidades laborales. En la dirección Zonal Arequipa-Puno, taller de Electrotecnia existen diversas especialidades como Electricidad Industrial, electrónica Industrial, Electrotecnia Industrial y Mecatrónica Industrial. Asimismo, la tecnología en cuanto al uso de los motores en la automatización y control de procesos sufre cambios a una velocidad vertiginosa gracias a microcontroladores cada vez más avanzados y potentes en cuanto a procesamiento de datos y complejidad. Por lo que la institución hace esfuerzos por implementar talleres con equipos y módulos didácticos para que los alumnos puedan lograr las habilidades y conocimientos que estas nuevas tecnologías demandan.

En el Centro de Formación de Arequipa, gracias a la colaboración del gobierno de Japón, en la escuela de Electrotecnia se ha tenido una serie de donaciones en cuanto a equipamiento y módulos didácticos de enseñanza en diferentes cursos y especialidades como electrónica, electrónica de potencia, electrónica digital, módulo didáctico de ascensores, módulos de control de motores. Estos equipos dado el tiempo transcurrido han quedado obsoletos o se han deteriorado por el uso, por lo que la institución dentro de su política de renovación de equipos los ha venido dando de baja.

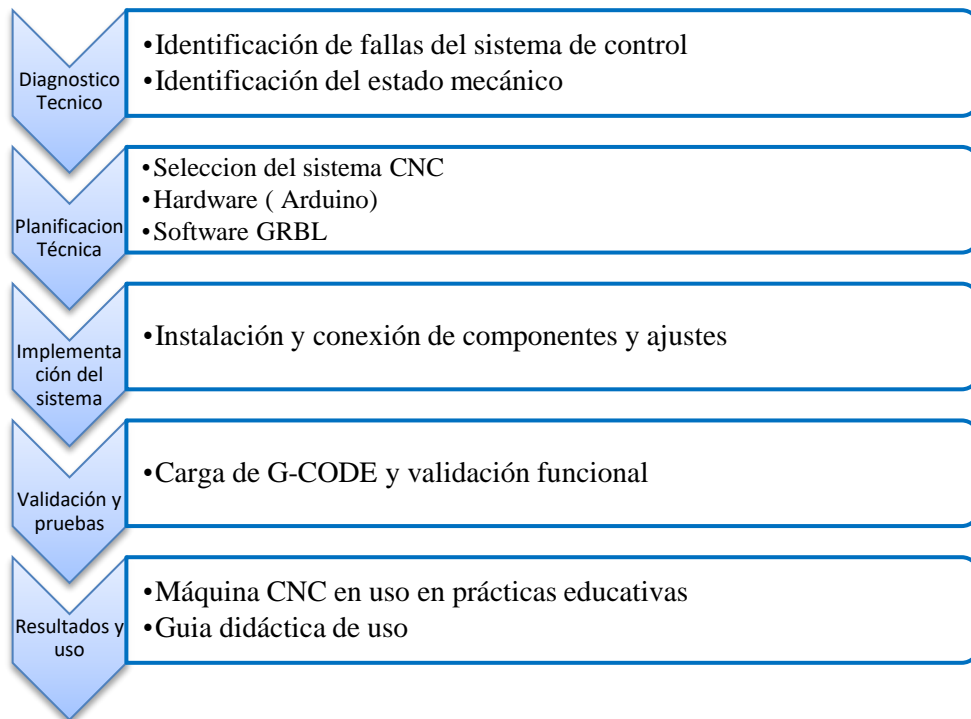
En el año 2019, existía dentro de los equipos mencionados un robot cartesiano en desuso desde el año 2000, que se usaba para el posicionamiento de un punto en el espacio de tres ejes XYZ. Este tenía un vástago en el eje Z en el cual se ponía un lapicero representando una herramienta (como por ejemplo una fresa). Se programaba por medio del envío secuencial de instrucciones por un teclado hacia un sistema de control el cual se encontraba malogrado y obsoleto.

Teniendo en cuenta la importancia de contar con un módulo didáctico operativo de estas características para la enseñanza de nuestros alumnos de la especialidad de Electrotecnia industrial en el curso de electrónica de potencia y para el entendimiento del funcionamiento de los motores paso a paso en condiciones reales de su uso en el control de movimiento de máquinas como cortadoras de plasma y otras máquinas de tres ejes, es que se toma la decisión de ponerlo en funcionamiento.

La solución al problema consistió en la actualización tecnológica del robot cartesiano XYZ mediante la implementación de un sistema de control CNC, con el objetivo de recuperar su funcionalidad, esto es reemplazar el sistema de control original, el cual era obsoleto e irreparable, lo que motivó la búsqueda de una solución sostenible, económica y educativa. Entre las fases clave del proyecto estuvieron el diagnóstico técnico, la selección del nuevo sistema de control, la integración de hardware y software, y finalmente la validación funcional. Participaron activamente el instructor y estudiantes de la especialidad de Electrotecnia Industrial. Como resultado, se logró recuperar el robot para prácticas reales, diseñar una guía didáctica de uso y fortalecer el aprendizaje en programación de máquinas CNC y control de movimiento con motores paso a paso. El resultado fue significativo, ya que permitió a los estudiantes entender el funcionamiento de motores paso a paso en condiciones reales de uso e interactuar con tecnología actualizada, promoviendo el desarrollo de competencias alineadas con las demandas de la automatización industrial. La experiencia ha constado de las siguientes etapas tal como se muestra a continuación:

**Figura 2**

*Fases en la actualización tecnológica del robot cartesiano XYZ*



De acuerdo con lo expuesto, esta experiencia demostró que se pueden recuperar equipos didácticos que han quedado en desuso, y que estos pueden ser actualizados de acuerdo con los nuevos avances tecnológicos para ser aprovechados nuevamente con mejoras técnicas de control y programación. Y, por tanto, pueden aportar en cuanto a no solamente entender el funcionamiento de los motores paso a paso como elementos aislados sino cómo funcionan dentro de un sistema integrado como es una máquina con control CNC de tres ejes XYZ.

### **1.5. Justificación del estudio**

En la enseñanza técnica es muy importante contar con equipos didácticos y metodologías alineados con las exigencias de la industria. Esta condición es clave

para el logro de competencias en la automatización y control de movimiento con motores paso a paso que propone el curso de electrónica de potencia de la carrera de Electrotecnia Industrial. En este sentido, este trabajo documenta una experiencia que permitió recuperar un equipo educativo que había quedado en desuso por tener su sistema de control dañado y obsoleto, mediante la adaptación de componentes y elementos tanto en hardware y software para su funcionamiento, logrando así recuperarlo para el uso didáctico.

El presente estudio, da cuenta de una experiencia de una mejora tecnológica aplicado a la formación profesional. Demuestra que, es posible aprovechar recursos existentes mediante soluciones innovadoras, sostenibles y replicables. Por tanto, consideramos que es de interés para los formadores e instituciones de formación tecnológica,

### **1.6. Pregunta de investigación**

Por lo expuesto, el problema de investigación se expresa en la siguiente pregunta:

¿Cómo se llevó a cabo la actualización tecnológica de un robot cartesiano XYZ en el curso de electrónica de potencia en la carrera de electrotecnia industrial SENATI?

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Dar a conocer la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio de un robot cartesiano XYZ para la enseñanza aprendizaje en el curso de electrónica de potencia de la carrera de electrotecnia industrial en SENATI Arequipa, 2019.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Describir la situación inicial de la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio de un robot cartesiano XYZ para la enseñanza aprendizaje en el curso de electrónica de potencia de la carrera de electrotecnia industrial en el SENATI Arequipa, 2019.
- Describir las actividades estratégicas de la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio de un robot cartesiano XYZ para la enseñanza aprendizaje curso de electrónica de potencia de la carrera de electrotecnia industrial en SENATI Arequipa, 2019.
- Exponer los resultados y lecciones aprendidas de la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio de un robot cartesiano XYZ para la enseñanza aprendizaje en el curso de electrónica de potencia de la carrera de electrotecnia industrial en SENATI Arequipa, 2019.

### **III.DESARROLLO DEL ESTUDIO**

#### **3.1.Método, Técnicas e instrumentos de análisis de la experiencia**

Para el desarrollo del presente estudio se utiliza el enfoque cualitativo. Siendo un estudio descriptivo asume la metodología de sistematización de experiencias que permite reconstruir metódicamente los hechos sobre las buenas prácticas para obtener lecciones aprendidas. En este sentido, no sólo implica ordenar y clasificar datos o hechos, sino que además nos lleva a realizar una interpretación crítica de nuestra experiencia y poder compartirlo (Jara, 2010).

Además, la sistematización de experiencias contribuye a fortalecer los conocimientos generados en la práctica, a recuperar experiencias positivas y negativas para aprender de ellos y enfrentar nuevos desafíos. (CINTERFOR, 2009). Por lo tanto, la presente sistematización se desarrolla desde una perspectiva descriptiva y reflexiva, ya que busca comprender e interpretar críticamente una experiencia vivida, la actualización tecnológica de un robot cartesiano XYZ en el curso de Electrónica de Potencia, en la carrera de Electrotecnia Industrial. El propósito es rescatar aprendizajes, identificar logros, dificultades, transformaciones y reflexionar sobre el proceso educativo-tecnológico vivido.

##### **3.1.1. Fases o etapas del estudio de sistematización**

El proceso de sistematización se desarrolló en cuatro fases principales que se muestra en la figura 3, coherentes con el enfoque metodológico seleccionado:

##### **Fase 1: Recuperación del contexto y antecedentes de la experiencia**

Se recopiló información referente al estado inicial del robot cartesiano, las necesidades académicas del curso y los objetivos de la actualización tecnológica.

Esta fase permitió delimitar el eje de sistematización, enfocado en los aprendizajes derivados del proceso de modernización del equipo y su impacto didáctico.

### **Fase 2: Ordenamiento y reconstrucción de la experiencia**

En esta etapa se organizaron cronológicamente los acontecimientos ocurridos durante la actualización tecnológica: diagnóstico del equipo, selección de componentes, proceso de instalación, integración electrónica, programación, pruebas funcionales y uso pedagógico posterior. La reconstrucción se realizó articulando datos empíricos, manuales de uso, documentos institucionales y testimonios de los actores participantes.

### **Fase 3: Interpretación crítica y análisis**

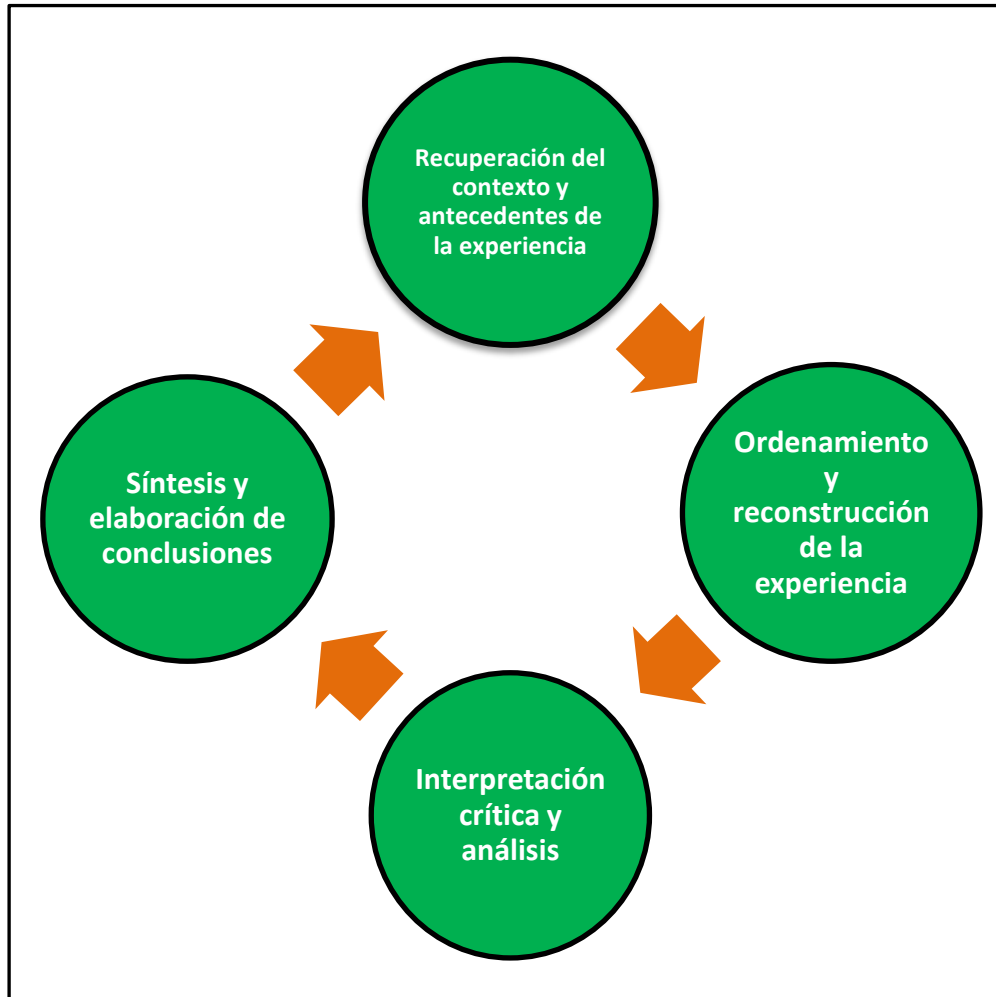
Se elaboró una lectura reflexiva del proceso, identificando aprendizajes, dificultades técnicas, decisiones metodológicas y transformaciones en la práctica docente. Este análisis permitió comprender los factores que facilitaron o limitaron la implementación del robot cartesiano actualizado como recurso didáctico.

### **Fase 4: Síntesis y elaboración de conclusiones**

Finalmente, se integraron los hallazgos para construir conclusiones pertinentes y generar propuestas de mejora orientadas al fortalecimiento de la enseñanza de la Electrónica de Potencia y el uso de herramientas tecnológicas en la formación profesional.

**Figura 3**

*Secuencia de sistematización de la experiencia*



### **3.1.2. Técnicas, fuentes e instrumentos para el recojo de datos**

El estudio empleó un enfoque cualitativo sustentado en diferentes técnicas e instrumentos a fin de lograr una comprensión de la experiencia analizada.

#### **a) Técnicas empleadas**

Se examinaron documentos institucionales, informes técnicos, manuales del robot cartesiano, hojas de especificaciones, registros de mantenimiento, planes de curso, fotografías y reportes elaborados durante la actualización. Esta técnica

permitió contextualizar el proceso y reconstruir la secuencia de acciones desarrolladas.

Se aplicaron entrevistas a instructores responsables del curso, estudiantes que participaron en las prácticas y egresados involucrados en la modernización del equipo. Las entrevistas permitieron recoger opiniones, percepciones, dificultades y aprendizajes asociados al proceso.

Se observó el proceso de desmontaje, instalación, cableado, programación y puesta en marcha del robot. También se observaron sesiones de práctica con estudiantes para documentar la manera en que el equipo actualizado se integraba a la enseñanza. La observación permitió obtener evidencia directa del proceso técnico y pedagógico.

#### **b) Fuentes de información**

- Fuentes primarias: instructores del curso, estudiantes participantes, personal técnico, notas de campo, observaciones, registros fotográficos propios.

- Fuentes secundarias: documentos institucionales, contenidos curriculares, manuales técnicos, registros de mantenimiento.

#### **c) Instrumentos utilizados**

- Registro fotográfico y notas de campo.
- Matriz de reconstrucción cronológica

### **3.1.3. Organización y procesamiento de los datos**

La organización y procesamiento de los datos se realizó siguiendo un enfoque cualitativo propio de la sistematización de experiencias, lo que permitió ordenar, interpretar y dar sentido a la información obtenida. En primer lugar, se realizó una clasificación inicial de todas las fuentes recolectadas: entrevistas, observaciones, documentos técnicos, registros fotográficos y notas de campo; con el fin de identificar su relevancia y relación con el eje de sistematización. Posteriormente, se procedió a la categorización temática, organizando la información en bloques como: diagnóstico del equipo, proceso de actualización tecnológica, participación de los actores, cambios pedagógicos, logros, dificultades y aprendizajes emergentes. Esta categorización se desarrolló combinando categorías predefinidas, derivadas del marco teórico y del diseño metodológico, con categorías emergentes surgidas durante el análisis.

Una vez sistematizada la información por categorías, se elaboraron matrices para relacionar eventos, decisiones técnicas, evidencias observadas y percepciones de los actores, lo que facilitó la interpretación global de la experiencia. Asimismo, se desarrolló una reconstrucción narrativa cronológica de la experiencia, integrando eventos, decisiones, acciones técnicas y cambios pedagógicos en una secuencia coherente que facilitó la interpretación crítica de la intervención.

Finalmente, el procesamiento culminó con una síntesis interpretativa, orientada a comprender no solo lo ocurrido durante la actualización tecnológica del robot cartesiano, sino también los significados, aprendizajes y transformaciones generados en el proceso formativo. Esta integración permitió derivar conclusiones

fundamentadas y recomendaciones aplicables a futuras experiencias de innovación tecnológica en la educación profesional técnica.

#### **3.1.4. Consideraciones éticas**

El estudio respetó los principios éticos de la investigación cualitativa y de la sistematización de experiencias:

- Confidencialidad y anonimato, asegurando que la información personal no sea revelada y que los datos se utilicen únicamente con fines académicos.
- Respeto y no afectación, evitando cualquier acción que pudiera perjudicar a estudiantes, instructores o la institución.
- Transparencia en la presentación y análisis de la información, procurando fidelidad a los hechos y evitando interpretaciones que distorsionen la experiencia vivida.
- Uso responsable de la información técnica, particularmente aquella relacionada con equipos, y procedimientos internos para su uso y mantenimiento.

### **3.2. Descripción de la experiencia**

#### **3.2.1. Situación inicial de la experiencia**

En el año 2019, en el Centro de Formación Profesional (CFP) SENATI - Arequipa, en la carrera de Electrotecnia Industrial, se identificó la necesidad de contar con recursos didácticos para la formación práctica del curso de electrónica de potencia, específicamente para la comprensión del montaje y funcionamiento de los motores paso a paso, los circuitos de control, la interfaz de potencia (drivers) y

ensamblar un posicionador unidimensional, tal como especificaba el contenido curricular del curso (Tabla 2).

El taller de electrotecnia contaba con un robot cartesiano XYZ que fue donado varios años atrás como equipo de apoyo a la enseñanza de control de movimiento y aplicaciones de potencia el cual se programaba mediante instrucciones secuenciales mediante teclado. Sin embargo, tras años de uso, el robot presentaba obsolescencia tecnológica, además el sistema de control basado en microprocesadores y electrónica desactualizada estaba dañado desde el año 2000, por lo que no era posible programarlo mediante hardware y software compatible con los sistemas operativos actuales. Estas limitaciones impedían utilizar el equipo para prácticas de laboratorio, reduciendo la calidad de las actividades formativas.

En este contexto, el equipo docente y la jefatura del área de planearon un proyecto de actualización tecnológica y puesta en servicio del robot cartesiano XYZ, con el fin de recuperar su funcionalidad y reforzar las competencias de los estudiantes del cuarto semestre de la especialidad de electrotecnia industrial en el curso de electrónica de potencia.

La responsabilidad de este proyecto de actualización contando con la aprobación de la jefatura, fue asignada a mi persona como instructor del curso en ese entonces, contando con la participación de los 16 alumnos que cursaban la asignatura mencionada, es así como se estableció el plan para su realización durante los meses de marzo y agosto del año 2019.

### 3.2.2. Actividades estratégicas de la experiencia

La experiencia se desarrolló a través de etapas sucesivas, que se describen cronológicamente en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

Fases de la experiencia de actualización tecnológica del robot XYZ.

Periodo	fase	Descripción del proceso
Marzo 2019	Diagnóstico técnico inicial	Se realizó una inspección técnica del robot, identificando control dañado e irreparable, incompatibilidad del firmware, desgaste de componentes mecánicos y problemas en módulos de control y de potencia.
Marzo 2019	Planificación de la actualización	El equipo de trabajo conformado por el docente y alumnos del curso definió los requerimientos: reemplazo de controladores por un CNC basado en Arduino, actualización del software de programación y firmware GRBL y rediseño de la interfaz de operación de motores paso a paso.
Abril – mayo 2019	Gestión de recursos y adquisición de componentes	Se evaluaron proveedores y se adquirieron la placa Arduino se cotizaron motores paso a paso modernos y módulos de potencia y drivers compatibles con <i>microstepping</i> .
Junio – Julio 2019	Integración y pruebas	Se instalaron los nuevos componentes, se elaboraron los esquemas eléctricos y electrónicos, se realizaron los cableados verificando la compatibilidad de voltajes y señales de control, se cargó el firmware GRBL a la placa Arduino y se ejecutaron pruebas de repetitividad y precisión de los ejes X, Y y Z.
Agosto 2019	Capacitación docente	Se llevaron a cabo talleres internos para los instructores, asegurando la transferencia de conocimientos sobre programación, operación y mantenimiento.
Setiembre 2019	Puesta en servicio en el curso	El robot actualizado fue incorporado a las prácticas de laboratorio del curso de Electrónica de Potencia, integrándose en las unidades de control de motores y automatización. Se elaboró una guía didáctica de uso.

Como señalan Cendales y Torres (2015), la reconstrucción cronológica de las acciones “facilita la comprensión de los factores clave que influyen en el éxito de una experiencia formativa”, permitiendo visibilizar tanto los logros como las dificultades enfrentadas. En este sentido es importante explicar de una manera detallada como se han desarrollado cada uno de estos hitos de la experiencia y las dificultades que se han tenido que superar.

## **1. Diagnóstico Técnico**

### **a) Identificación de fallas del sistema de control**

Durante la revisión inicial del robot cartesiano XYZ se detectaron fallas en los siguientes puntos:

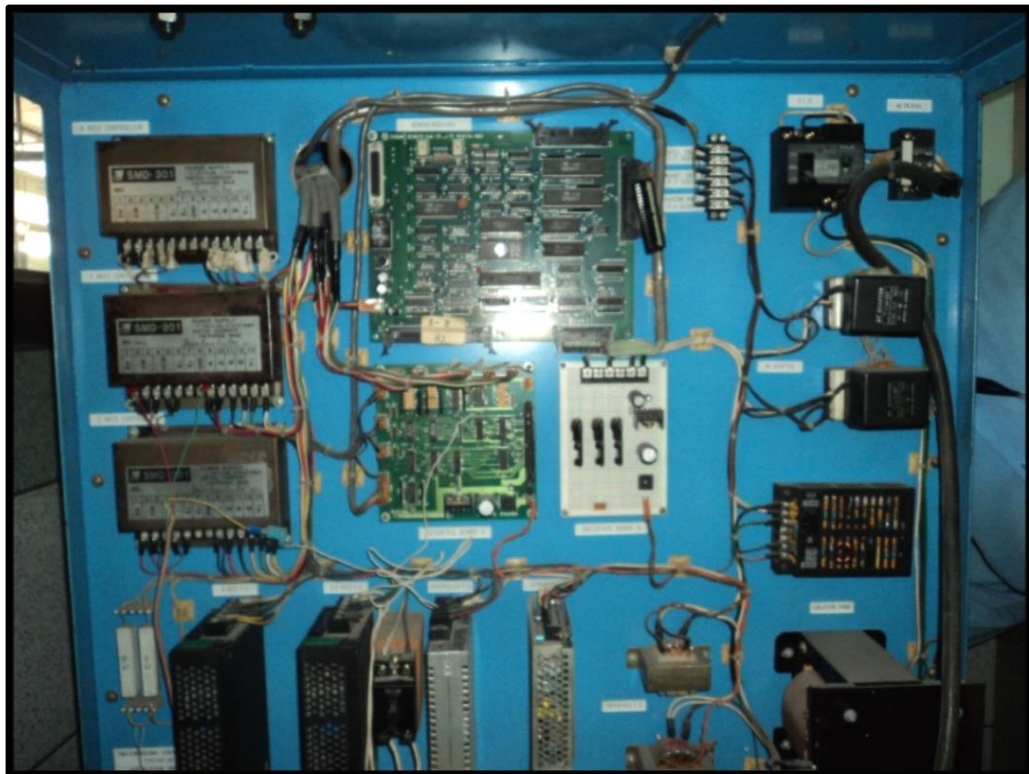
- Obsolescencia de la electrónica de control: el antiguo controlador basado en microprocesadores de primera generación y propietario se encontraba malgrado presentaba incompatibilidad con software actual y falta de repuestos.
- Driver de potencia de cada uno de los tres motores desactualizados de acuerdo con las señales de entrada digitales de entrada necesarias de pulso y dirección desde un controlador moderno. además, de no contar con tecnología *microstepping* para el control de motores paso a paso que permiten mejorar su rendimiento en cuanto a velocidad y precisión.
- Limitada capacidad de comunicación: ausencia de interfaces USB o Ethernet para envío de códigos de control modernos.

El robot consta de dos partes una superior en que se encuentran las partes mecánicas y los motores paso a paso y una inferior (Figura 4) en la cual se

encontraba la tarjeta controladora antigua basada en microprocesador y los drivers de potencia de cada uno de los tres ejes XYZ.

#### **Figura 4**

*Sistema de control original y drivers de potencia correspondiente a los ejes XYZ del robot cartesiano*



#### **b) Identificación del estado mecánico**

La estructura mecánica: guías lineales, husillos y rodamientos (Figura 5), fue evaluada mediante inspección visual y pruebas de desplazamiento:

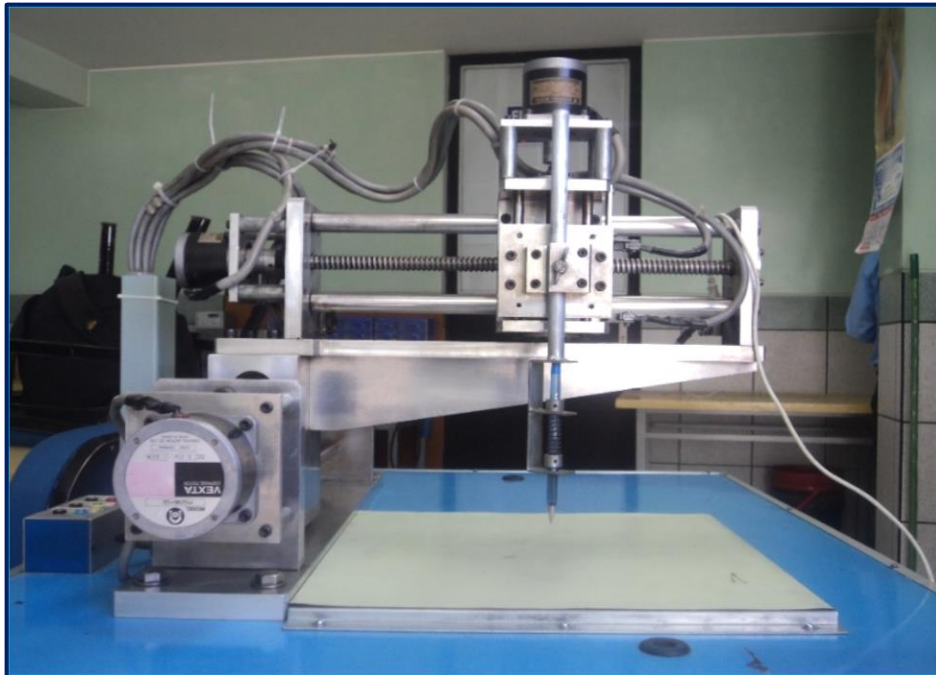
- Ejes X y Y: desgaste moderado en guías, sin holguras críticas.
- Eje Z: tornillo de avance con leve juego axial, corregible con ajuste de tuercas.

- Plataforma de trabajo: en buen estado, solo requería limpieza.
- El vástago que sostenía el lapicero que simula las herramientas posibles en un sistema real industrial se encontraba en buen estado, requiriendo solo limpieza y lubricación.

Es importante mencionar que el sistema mecánico de tornillos de bolas y guías en el momento de la intervención era de muy buena calidad en cuanto a su fabricación y precisión, lo cual le daba al proyecto de actualizar la maquina un valor agregado.

### **Figura 5**

*Sistema mecánico de los ejes XYZ del robot y motores paso a paso*



## **2. Planificación Técnica**

### **a) Selección del sistema CNC**

Tras evaluar distintas opciones (controladores comerciales vs. de código abierto), se optó por un sistema CNC basado en GRBL, por su compatibilidad con

Arduino, bajo costo y amplia comunidad de soporte. Otra opción que fue considerada y evaluada por el equipo de trabajo fue Mach3- CNC bastante difundida y que cuenta con amplia información de aplicaciones, teniendo como desventaja que requería una tarjeta de control adicional la cual debería ser adquirida bajo pedido y que extendería considerablemente el plazo previsto.

### **b) Selección del hardware (Arduino)**

Luego de considerar y discutir las diferentes alternativas, se eligió Arduino Uno para controlar los drivers de los motores paso a paso.

- Drivers recomendados: A4988, DRV8825, TB6600 con capacidades de *microstepping*. Luego de las consideraciones técnicas de cada una de las alternativas, por parte del equipo de trabajo se eligió el driver TB6600 por su capacidad de manejo de corrientes hasta 4 A y control de corriente programable.
- Fuente de alimentación: 24 VDC, 5 A para asegurar torque adecuado.

### **c) Software GRBL**

Se instaló firmware GRBL en el Arduino Uno.

- Permite interpretar instrucciones en G-code.
- Configurable para límites de carrera, aceleración y velocidades de los ejes.
- Compatible con interfaces de control como Universal Gcode Sender (UGS).

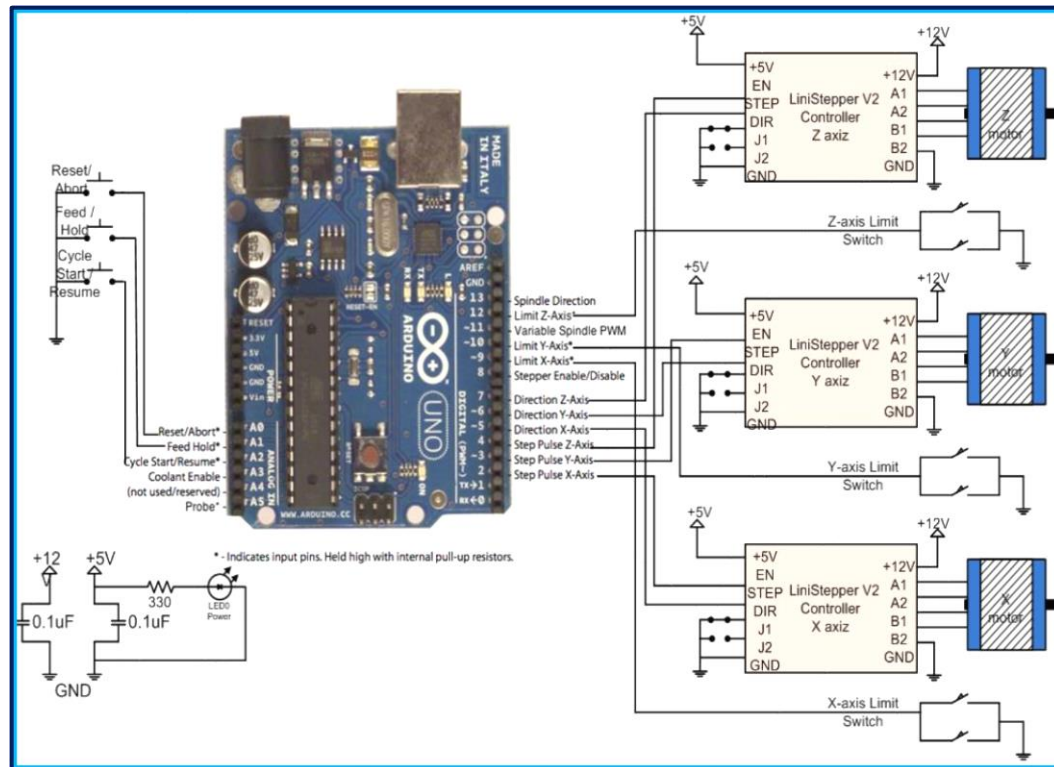
### **3. Implementación del Sistema**

#### **a) Instalación y conexión de componentes y ajustes**

- Se desmontó el antiguo sistema de control, conservando la mecánica existente. Asimismo, se verificó el buen estado de las fuentes de alimentación y los drivers de potencia de los motores paso a paso, que requerían entradas para su control en forma independiente para los giros tanto en sentido directo como inverso de los motores PAP.
- Se cablearon las entradas de control de cada uno de los drivers hacia las salidas predeterminadas del Arduino en concordancia con el software GRBL.
- Se cablearon las salidas de potencia de cada uno de los drivers hacia las entradas de los motores paso a paso motores los ejes XYZ.
- Se configuraron finales de carrera (*limit switches*) para los tres ejes.

**Figura 6**

*Conectividad del sistema de control basado en arduino y motores PAP compatible con las señales del firmware GRBL.*



*Nota:* Adaptado de <https://europe1.discourse-cdn.com/arduino/original/4X/c/4/8/c48b65d537fd7fd571407ecd92592da58e0252c8.jpeg>

#### 4. Validación y Pruebas

##### a) Carga de G-code y validación funcional

- Se diseñó un archivo de prueba en formato G-code de una figura geométrica simple.
- El archivo se cargó en UGS, ejecutando movimientos en vacío para verificar desplazamientos y repetibilidad.

- Se verifico la precisión de posicionamiento en los tres ejes.

## 5. Resultados y Uso

### a) Máquina CNC en uso en prácticas educativas

La máquina renovada fue incorporada a las sesiones prácticas del curso de Electrónica de Potencia en la carrera de Electrotecnia Industrial permitiendo que los estudiantes generen y ejecuten sus propios G-code y favoreciendo la comprensión de control de motores paso a paso, drivers y electrónica de potencia.

#### Figura 7

*Robot cartesiano XYZ actualizado con sistema de control basado en Arduino.*



### **b) Guía didáctica de uso**

Se elaboró una guía de uso y configuración que incluye procedimiento para encendido, carga de código y ejecución segura, mantenimiento preventivo básico. Esta guía se presenta en el Anexo A.

## **3.3.Resultados de la experiencia**

### **a) Actualización integral del sistema de control**

Se logró reemplazar la electrónica de mando obsoleta del robot cartesiano XYZ por un sistema CNC de código abierto basado en Arduino Uno y firmware GRBL. Esta actualización permitió interpretar y ejecutar trayectorias en lenguaje G-code, integrándose sin inconvenientes a la mecánica original. El robot cartesiano XYZ recuperó su plena operatividad, alcanzando mayor precisión en los tres ejes y aumentando su confiabilidad para las prácticas de electrónica de potencia.

### **b) Revalorización de recursos institucionales**

La estructura mecánica original, guías lineales, husillos de bolas, fue conservada tras un proceso de inspección y mantenimiento básico. Con ello, se extendió la vida útil del equipo a un costo significativamente menor que la adquisición de un nuevo equipo y se demostró que la modernización puede ser económicamente sostenible.

### **c) Integración curricular en el curso de electrónica de potencia y fortalecimiento de las prácticas educativas**

El robot actualizado se incorporó formalmente a las sesiones de practica del curso de electrónica de potencia en la carrera de Electrotecnia Industrial, permitiendo a los estudiantes desarrollar competencias en control de motores, electrónica de potencia y programación aplicada a sistemas CNC, reforzando el vínculo entre teoría y práctica.

#### **d) Producción de una guía didáctica de uso y mantenimiento**

Se elaboró un manual que detalla procedimientos de encendido, configuración, carga de programas y mantenimiento preventivo. Este documento estandariza las prácticas, mejora la seguridad y facilita la capacitación de nuevos estudiantes y docentes.

#### **e) Impacto institucional y proyección de innovación**

El proyecto se convirtió en un modelo replicable para otros laboratorios de SENATI que requieran modernizar equipos con recursos limitados. Se sentaron las bases para futuros proyectos de investigación aplicada, como la implementación de control con servomotores y aplicaciones en máquinas de corte por láser o plasma.

### **3.4.Aspectos que facilitaron o dificultaron llevar a cabo la experiencia**

#### **3.4.1. Aspectos que facilitaron la experiencia**

**a) Apoyo institucional y directivo:** La jefatura académica de SENATI Arequipa respaldó el proyecto desde su inicio, autorizando el uso de laboratorios, herramientas y materiales. Este respaldo no solo agilizó trámites logísticos y

presupuestales, sino que también otorgó legitimidad al trabajo de actualización, facilitando la coordinación entre áreas.

**b) Compromiso y trabajo colaborativo:** Tanto el instructor del curso de Electrónica de Potencia como los instructores y el grupo de estudiantes de electrotecnia industrial participaron activamente. La diversidad de perfiles (desde conocimiento en CNC hasta experiencia en electrónica de potencia) permitió compartir responsabilidades y reducir tiempos de ejecución. Se contó con la participación de un instructor del área de metalmecánica especialista en máquinas CNC para el diagnóstico inicial de las partes mecánicas de alta precisión como son los tornillos helicoidales con esferas deslizantes o tornillos de bolas y en general de todo el sistema mecánico y su mantenimiento.

**c) Disponibilidad de recursos tecnológicos accesibles:** La elección de plataformas de código abierto como Arduino y GRBL permitió diseñar un sistema de control económico y escalable, sin depender de licencias costosas. Esto redujo significativamente los costos de actualización y ofreció la posibilidad de replicar la experiencia en otros centros de formación.

**d) Pertinencia pedagógica y motivación académica:** La necesidad de contar con un robot cartesiano plenamente operativo para prácticas de control de movimiento con motores paso a paso y programación de G-CODE generó un alto nivel de motivación. Tanto instructores como estudiantes vieron en el proyecto una

oportunidad directa de mejorar la calidad de la enseñanza y de vincularse con las demandas de la industria.

**e) Acceso a bibliografía y experiencias previas en la red:** La abundante documentación en línea, foros técnicos y tutoriales facilitó la resolución de problemas durante la fase de integración y pruebas, reduciendo la dependencia de asistencia técnica externa.

### **3.4.2. Aspectos que dificultaron la experiencia**

**a) Obsolescencia y carencia de documentación del sistema original:**

El control anterior del robot no contaba con manuales ni diagramas actualizados. Esto dificultó el diagnóstico de fallas para la implementación del nuevo sistema de control tanto en hardware como en software. Para superar este inconveniente se tuvo que realizar el levantamiento y dibujo de los diagramas en software especializado y la identificación manual de conexiones, sensores y motores, obligando a invertir tiempo en realizar esta actividad.

**b) Limitaciones presupuestarias y de adquisición de componentes:**

El SENATI no contaba con un presupuesto definido para este tipo de iniciativas. Además, algunos elementos electrónicos tendrían que ser importados, generando demoras por disponibilidad y tiempos de entrega. Ante este panorama, se dio prioridad al uso de partes disponibles en el taller como la placa Arduino y componentes digitales de bajo costo, pero confiables. Se tuvo que considerar el acondicionamiento de algunos elementos de la máquina que inicialmente no se iban

a usar como los drivers y motores de paso originales, descartando el uso de motores PAP tipo NEMA y drivers TB6600 con microstepping, ante las limitaciones mencionadas.

**c) Curva de aprendizaje en nuevas herramientas de software y hardware:** Esta fase de aprendizaje extendió el cronograma y requirió horas adicionales de ensayo y error. El equipo debió capacitarse en vectorización de imágenes, configuración de firmware GRBL, en la comunicación de la interfaz CNC y en la calibración de los ejes.

**d) Incompatibilidad del nuevo sistema de control con los drivers existentes:** La integración del nuevo sistema de control con los actuadores originales presentó ajustes mecánicos y eléctricos imprevistos. Se tuvo que rediseñar parte del cableado y adaptar las señales de control desde el Arduino hacia los drivers existentes empleando hardware adicional,

**e) Restricciones de tiempo por calendario académico:** El proyecto se desarrolló en paralelo con las actividades normales de enseñanza y evaluaciones de los estudiantes, lo que limitó la disponibilidad de los participantes. Fue necesario reorganizar horarios y dividir tareas para cumplir los hitos de implementación y validación.

### **3.5. Lecciones aprendidas y aportes de la experiencia**

#### **a) Lecciones Aprendidas**

El proceso evidenció que una evaluación minuciosa de los sistemas de control y del estado mecánico es clave antes de planificar cualquier actualización tecnológica. Identificar con precisión las fallas electrónicas y las condiciones de los componentes mecánicos permitió diseñar un plan realista, optimizar recursos y evitar paradas prolongadas en las prácticas académicas, en concordancia con Jara (2018), quien subraya que una sistematización rigurosa permite identificar los puntos críticos de un proceso.

Involucrar desde el inicio a estudiantes y la participación del docente del curso y el instructor de mecánica de mantenimiento facilitó la toma de decisiones sobre hardware, software y cronograma. Esta interacción aseguró que las soluciones propuestas fueran adecuadas para la enseñanza de Electrónica de Potencia y fortaleció el compromiso colectivo con el proyecto.

La elección de un sistema CNC basado en Arduino y GRBL demostró que las soluciones de software y hardware de libre acceso pueden igualar, e incluso superar, la eficiencia de sistemas propietarios en entornos educativos. Su flexibilidad permitió personalizar parámetros y disminuir los costos de implementación.

La experiencia integró conocimientos de electrónica de potencia, programación, mecánica de precisión y control automático. Esta transversalidad generó un ambiente de aprendizaje que fortaleció tanto las competencias técnicas de los estudiantes como las capacidades de los docentes.

Durante la implementación surgieron imprevistos, como la calibración de los drivers, velocidades de los motores y calibración de los ejes en función del paso del tornillo, que exigieron soluciones creativas y rápidas. Esto reforzó la idea de

que en proyectos de innovación es fundamental la flexibilidad metodológica y la capacidad de respuesta ante contingencias.

### **b)Aportes de la Experiencia**

La documentación sistemática del proceso constituye una guía que puede ser aplicada en la modernización de otros equipos de laboratorio de SENATI, optimizando recursos y fortaleciendo la cultura de innovación institucional.

La actualización del robot cartesiano XYZ permitió a los estudiantes, interactuar con un equipo de tecnología vigente en la industria, incrementando su comprensión de conceptos como el control de motores paso a paso, el uso de drivers y la programación en G-code.

La incorporación del nuevo sistema CNC generó prácticas de laboratorio más dinámicas y orientadas al aprendizaje activo, lo que fomenta el desarrollo de competencias de resolución de problemas y el pensamiento crítico.

Al reutilizar la estructura mecánica y renovar solo el sistema de control, se evitó la compra de un nuevo equipo de alto costo, demostrando que la actualización tecnológica puede ser una estrategia económicamente sostenible para las instituciones de educación técnica.

La experiencia abre la posibilidad de futuros desarrollos, como la integración de sensores de retroalimentación, sistemas de visión artificial o el control en lazo cerrado, generando un campo fértil para trabajos de investigación en automatización y robótica.

#### **IV.CONCLUSIONES**

- En relación con el objetivo general, se concluye que la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio del robot cartesiano XYZ permitió evidenciar su alto valor pedagógico como recurso didáctico en el curso de Electrónica de Potencia, ya que facilitó la integración efectiva de contenidos teóricos con prácticas reales de control, accionamiento y automatización industrial, fortaleciendo significativamente el proceso de enseñanza–aprendizaje en la carrera de Electrotecnia Industrial del SENATI Arequipa.

- Respecto al primer objetivo específico, se concluye que la situación inicial del robot cartesiano XYZ presentaba limitaciones tecnológicas, tales como obsolescencia de componentes, falta de integración con tecnologías industriales actuales y escasa aplicabilidad pedagógica. Este diagnóstico evidenció la necesidad de una actualización tecnológica que permitiera su adecuación a los requerimientos formativos y al enfoque por competencias del modelo educativo de SENATI.

- En relación con el segundo objetivo específico, se concluye que las actividades estratégicas desarrolladas, que incluyeron el diagnóstico técnico, la selección de componentes eléctricos y electrónicos, la actualización del sistema de potencia y control y la puesta en servicio del equipo; fueron determinantes para convertirlo en un recurso didáctico funcional para la enseñanza práctica del curso de electrónica de potencia.

- En relación con el tercer objetivo específico, se concluye que los resultados obtenidos evidenciaron un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes, reflejado en una mayor comprensión de los principios de electrónica de potencia aplicada, control de motores y automatización industrial. Asimismo, las

lecciones aprendidas destacan la importancia de la planificación técnica-pedagógica, la actualización continua de los docentes y el aprovechamiento de recursos tecnológicos existentes como estrategias sostenibles para la innovación educativa en la formación técnica.

Finalmente, se concluye que la experiencia sistematizada constituye un referente replicable para futuras iniciativas de actualización tecnológica en SENATI, demostrando que la recuperación y modernización de equipos industriales contribuye de manera efectiva a la mejora de la calidad educativa, al fortalecimiento de las competencias técnicas de los estudiantes y a la vinculación con las demandas reales del sector productivo.

## V.RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos en la presente sistematización de la experiencia de actualización tecnológica y puesta en servicio de un robot cartesiano XYZ en el curso de Electrónica de Potencia de la carrera de Electrotecnia Industrial en el Centro de Formación Profesional SENATI Arequipa (2019), se plantean las siguientes recomendaciones:

- Integrar permanentemente el uso del robot cartesiano XYZ en las actividades prácticas del curso de electrónica de potencia, de acuerdo con las tareas de aprendizaje indicadas en el contenido curricular, a fin de fortalecer la relación entre los conceptos teóricos y su aplicación en contextos reales de automatización industrial.
- Incorporar esta experiencia en el banco institucional de buenas prácticas formativas, con el fin de replicarla en otros centros de formación a nivel nacional, destinando recursos para su implementación.
- Impulsar líneas institucionales de innovación educativa, promoviendo proyectos de investigación aplicada que integren electrónica de potencia, robótica y control industrial como herramientas de aprendizaje activo.
- Profundizar en la evaluación del impacto pedagógico del uso de sistemas robóticos en el desarrollo de competencias técnicas, cognitivas y transversales en estudiantes de formación profesional tecnológica.
- Realizar estudios comparativos entre modelos de enseñanza tradicionales y metodologías activas apoyadas en sistemas automatizados, para determinar su efectividad en el aprendizaje significativo.

- Abrir nuevas líneas de investigación aplicada orientadas a la integración de control CNC con servovariadores y servomotores, en entornos de enseñanza y aprendizaje de la automatización industrial.

- Establecer convenios de colaboración con el sector productivo, a fin de mantener una conexión directa con las necesidades reales de la industria y facilitar la transferencia tecnológica.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Maeeni, A. A., & Al-Bahadili, H. M. (2020). *Smart retrofitting of machine tools in the context of Industry 4.0*. *Procedia CIRP*, 88, 369–374.
- Cendales, L., & Torres, A. (2015). *Sistematización de experiencias: un método para la reflexión crítica y el aprendizaje colectivo*. Bogotá: CINDE.
- Chiavenato, I. (2009). *Introducción a la teoría general de la administración* (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Cinterfor. (2009). *Sistematización de experiencias: Aprender de la práctica*. Organización Internacional del Trabajo.  
[https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/sistematizacion\\_cinterfor.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/sistematizacion_cinterfor.pdf)
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics: Mechanics and Control* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- García Téllez, M. E. (2017). *Desarrollo de un sistema de control basado en Arduino para robot cartesiano XYZ aplicado en laboratorios de electrónica industrial*. Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Peruano. Lima, Perú.
- García-Sánchez, I. M., Rodríguez-Domínguez, L., & Gallego-Álvarez, I. (2019). *Tecnología y sostenibilidad en procesos industriales*. *Revista de Estudios Empresariales*.
- González, J., & Ramírez, A. (2019). Aplicaciones de la robótica cartesiana en la industria manufacturera. *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, 15(2), 45-56.

- González, R., & Santibáñez, V. (2015). *Robótica: teoría y aplicaciones* (2.<sup>a</sup> ed.). Alfaomega.
- Groover, M. P. (2012). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.). Pearson Education.
- Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson.
- Huang, S. H., & Mak, K. L. (2018). *Retrofitting legacy robots for modern manufacturing environments: A review and case study*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.
- Jara Holliday, O. (2010). *Sistematización de experiencias: Investigación y evaluación de procesos sociales*. Lima: Ediciones ACEP.
- Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. San José: CEP Alforja.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). *A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters.
- Lins, L., & Guerreiro, J. (2019). *A novel methodology for retrofitting CNC machines based on the context of Industry 4.0*. Journal of Manufacturing Systems.
- Paredes Huamán, L. M. (2020). *Implementación de un sistema de control CNC en un robot cartesiano para automatización educativa en SENATI Lima*. Tesis de pregrado, SENATI. Lima, Perú.
- Quispe López, R. F. (2019). *Modernización de un posicionador XYZ con control obsoleto mediante integración de controladores programables*. Tesis de pregrado, Instituto Superior Tecnológico San Juan Bautista. Lima, Perú.

SENATI (2010). *Contenidos Curriculares de Electrotecnia Industrial*.

Recuperado de: <http://intranet.senati.edu.pe>

SENATI. (2019). *Plan curricular de la carrera de Electrotecnia Industrial*. Lima:

SENATI.

Słowik, A., Dąbrowski, P., & Błaszczuk, M. (2023). *Manufacturing equipment retrofitting towards Industry 4.0 standards*. Engineering Management in Production and Services.

Torres Villanueva, J. C. (2021). *Evaluación del impacto de la automatización mediante robots cartesianos XYZ en la formación técnica profesional en SENATI Arequipa*. Informe técnico, SENATI Arequipa. Arequipa, Perú.

Vásquez Rojas, J. A. (2018). *Diseño y construcción de un robot cartesiano XYZ para prácticas de control industrial en la carrera de Mecatrónica*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

## VII. ANEXOS

### ANEXO A

#### GUIA DE USO ROBOT CARTESIANO XYZ



#### **Precauciones De Seguridad.**

- Uso permanente de EPP`s:
- Gafas de seguridad
- Zapatos dieléctricos

Advertencia: No tocar ninguna de las partes de la maquina a menos que se encuentre en estado de reposo

### **Conexiones.**

El módulo posicionador X, Y, Z tiene un enchufe de poder, la misma que será conectada a una fuente de tensión de 220v/60Hz.

Conectar el Arduino uno R-3 al Ordenador que se use para esta operación, mediante un cable USB 2.0 o superior.

Comprobar la comunicación serial entre Ordenador-Arduino (dos pequeños leds montados en la placa Arduino parpadearan, también en el programa Universal GCode Sender será identificado.

Verificar que las conexiones existentes en la placa de acondicionamiento de señal estén fijas y el en sus posiciones correspondientes.

Subir la llave general del Módulo robot cartesiano XYZ, ubicada en la parte superior del panel. Seguidamente subir la llave termomagnética de los drivers ubicados en la parte inferior del panel del Módulo robot cartesiano XYZ.

### **Configurar Posición Inicial.**

Mediante el programa Universal Gcode Sender, mover en modo manual a la posición que se desee que empiece la operación los ejes del Módulo robot cartesiano XYZ. Una vez ubicado el punto de inicio desconectar el Arduino solo mediante software y volver a conectar.

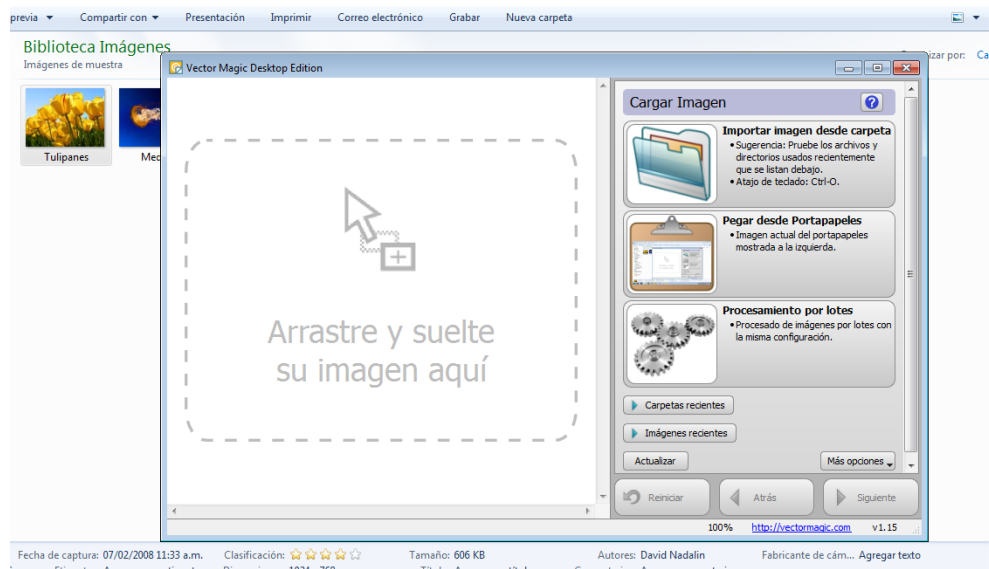
*DATO: Al conectar el robot cartesiano XYZ tomará el punto cero o punto de inicio en la posición que se dejó anteriormente. Se podrá retornar a la posición ya configurada mediante software las veces que el operario desee.*

## Descripción del proceso.

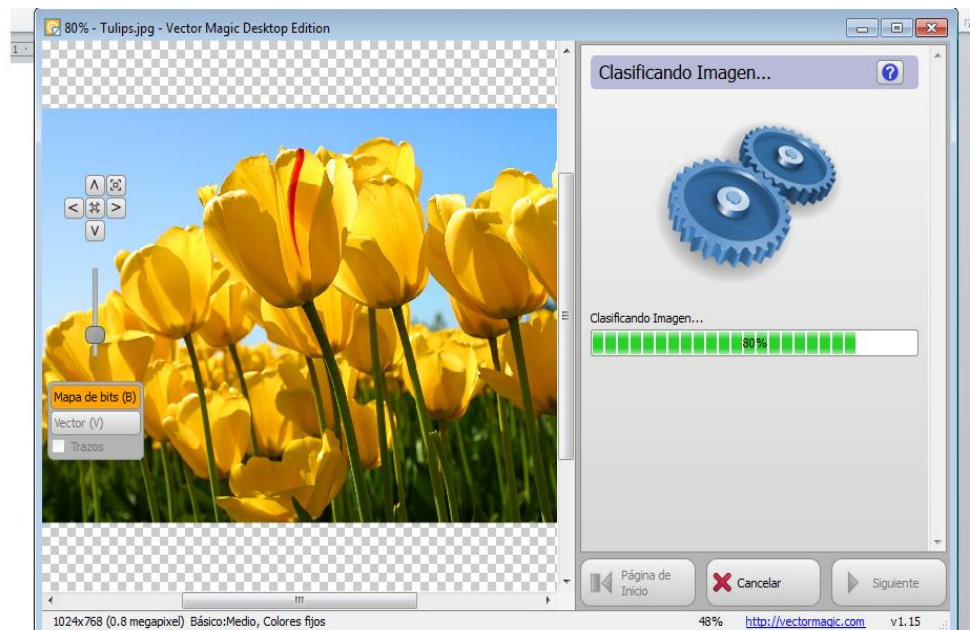
Obtener el archivo DXF. Mediante el software Vector Magic u otros softwares que puedan exportar archivos con dicha extensión.

## Vectorización de imágenes:

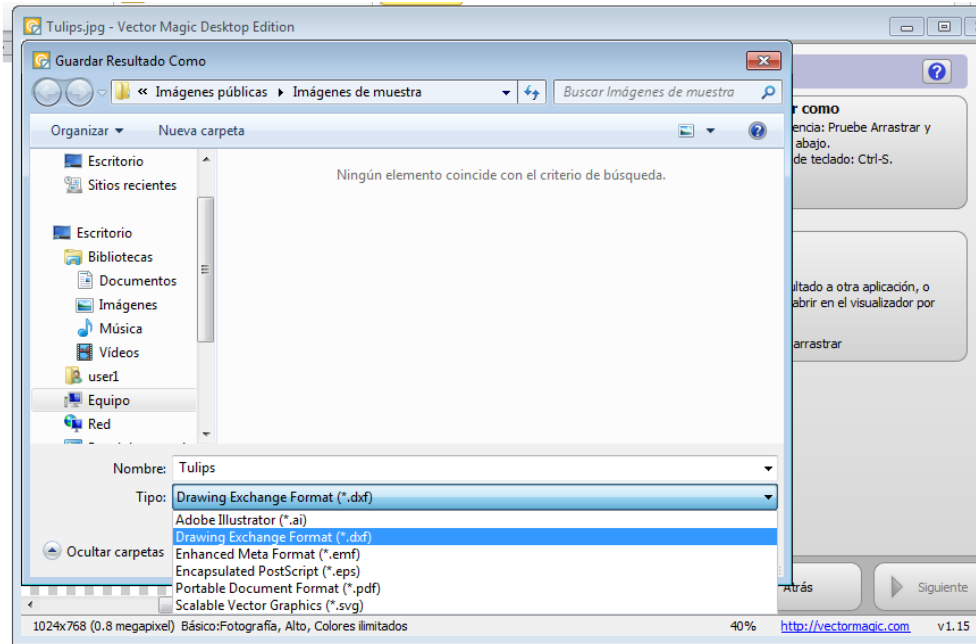
Arrastrar la imagen o importar desde carpeta:



El proceso iniciará:



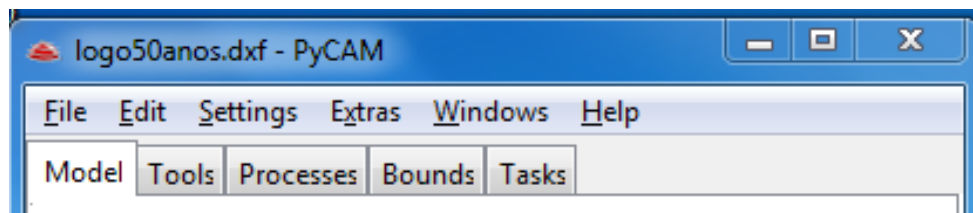
Hacemos click en *guardar como* y lo guardamos en la ruta deseada con formato “.dxf”



## Software Pycam

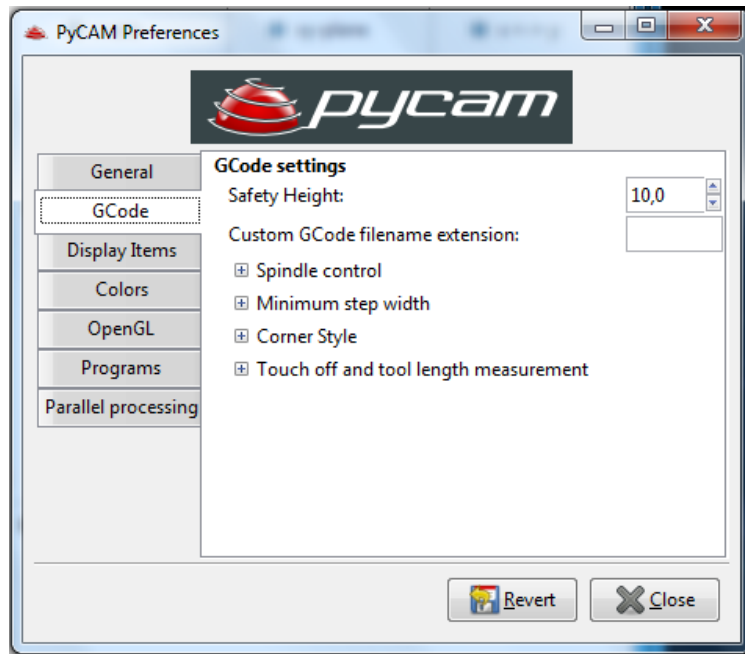
Abrir el software PyCam y abrir el archivo DXF. Ya generado anteriormente, esperar que el archivo sea interpretado por el software configurar parámetros para una impresión 2D que a continuación de muestran.

Clic en Settings

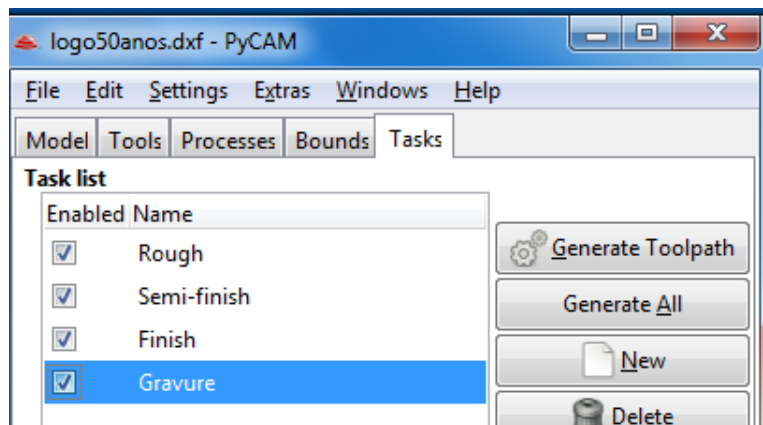


En este cuadro de dialogo solo cambiar de la opción de Gcode – Safety Height el valor normalmente tendrá que estar entre 10-20 esto para lapicero.

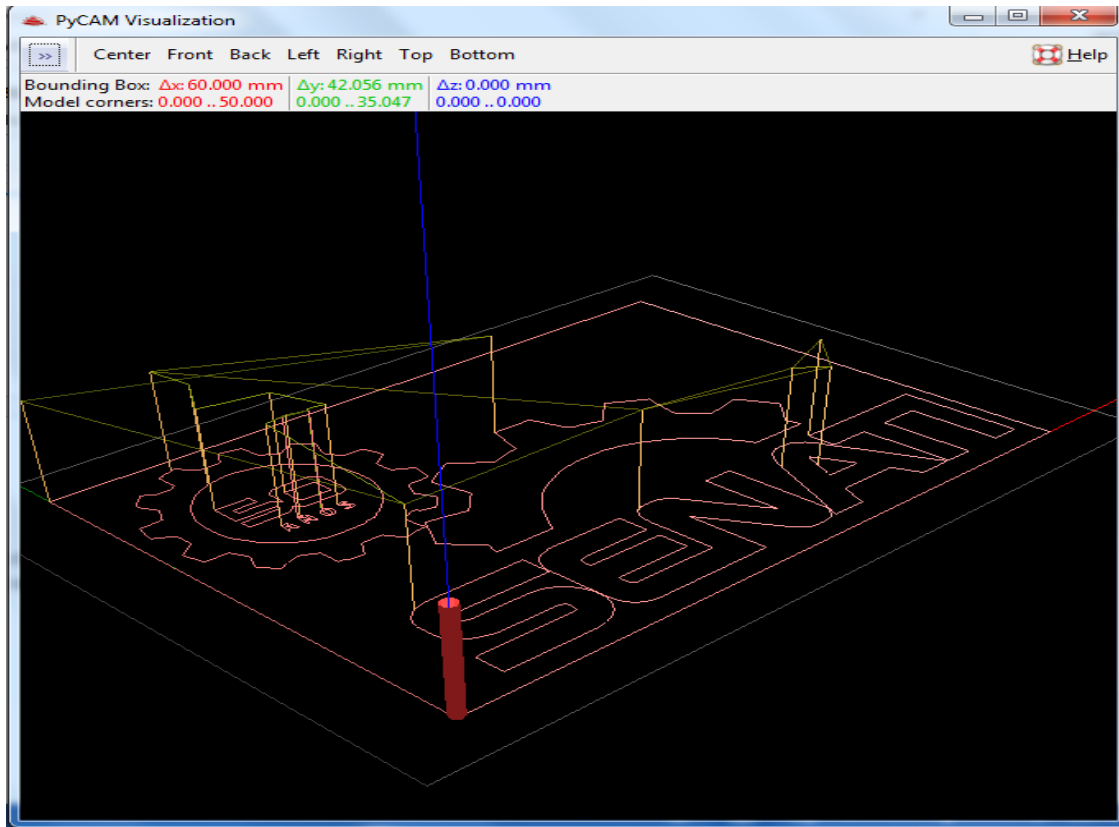
Esta configuración es para fijar a que distancia subirá el eje z para desplazarse en el momento de la operación este cambio se notará en el panel de visualización del PyCam.



En el botón Tasks dejar marcadas todas las opciones tal como muestra la imagen, para una impresión con lapicero las demás configuraciones se dejan tal cual. Pulsar Generate Toolpath esperar hasta que el software termine el proceso.

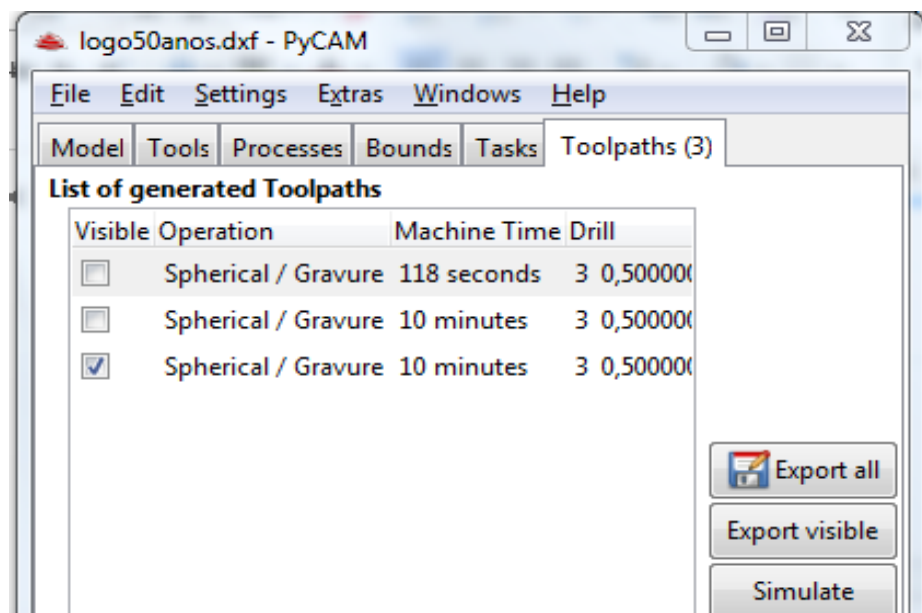


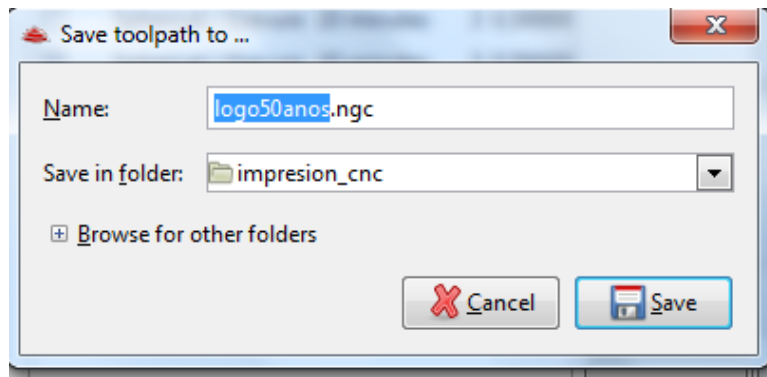
Se mostrará una nueva opción en PyCam *toolpath1* y también se podrá visualizar un cambio en el panel de visualización del PyCam



Como se puede observar se a trazado al ruta que seguira el Posicionador X, Y, Z. La misma que se podra simular

En esta nueva opcion se podra exportar el archivo visible con la extencion (.ngc) el cual sera interpretado por el arduino y simular el modelo a imprimir.





Abrir el archivo .ngc ya generado anteriormente con el software Universal Gcode Sender y enviarlo.

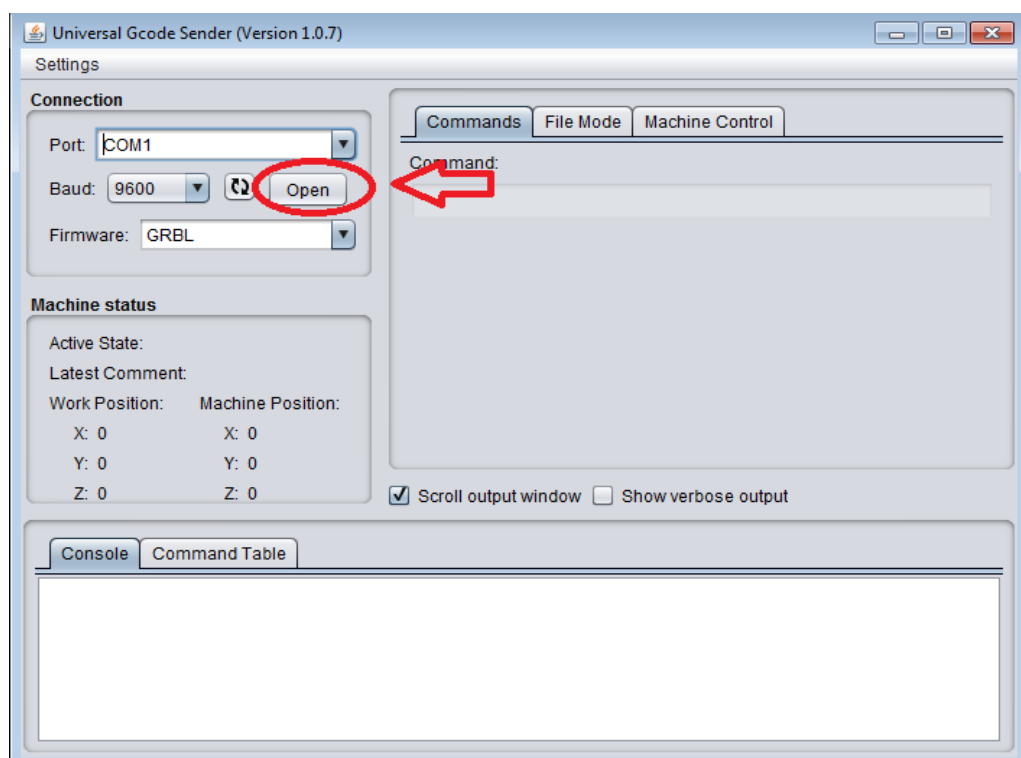
### Universal Gcode Sender

Primero debemos tener conectado Arduino al ordenador. Para abrir el programa haremos clic en el archivo ejecutable UniversaGcodeSender-all64

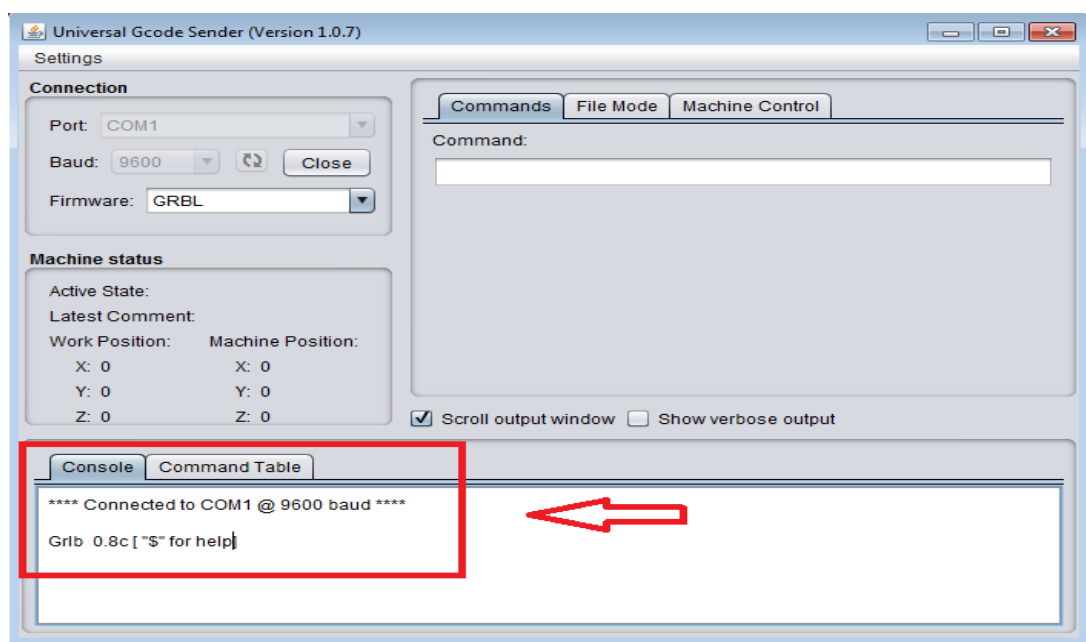
README	15/12/2012 16:48	Text Document	1 KB
start.sh	15/12/2012 16:48	SH File	1 KB
start-windows	15/12/2012 16:48	Windows Batch File	1 KB
UniversalGcodeSender-all64	15/12/2012 16:48	Executable Jar File	394 KB



Para iniciar la comunicación Arduino-Universal Gcode Sender escogeremos el puerto COM al que está conectado nuestro Arduino y clic en el botón “open”

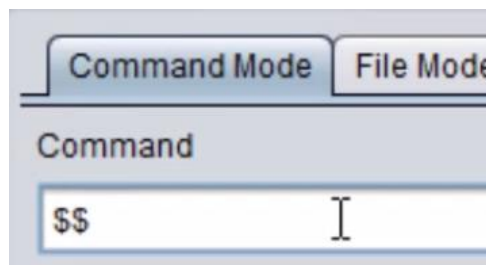


Mostrará dos mensajes, el primero indicara la conexión con el dispositivo, el segundo mensaje “Grbl 0.8c” indica el reconocimiento del software interpretador GRBL y su respectiva versión, esto significa que la comunicación se realizó exitosamente. Si no apareciera este último mensaje significa que reconoció el dispositivo, pero, no identifica el programa por lo que el control no funcionará.



## Configuración

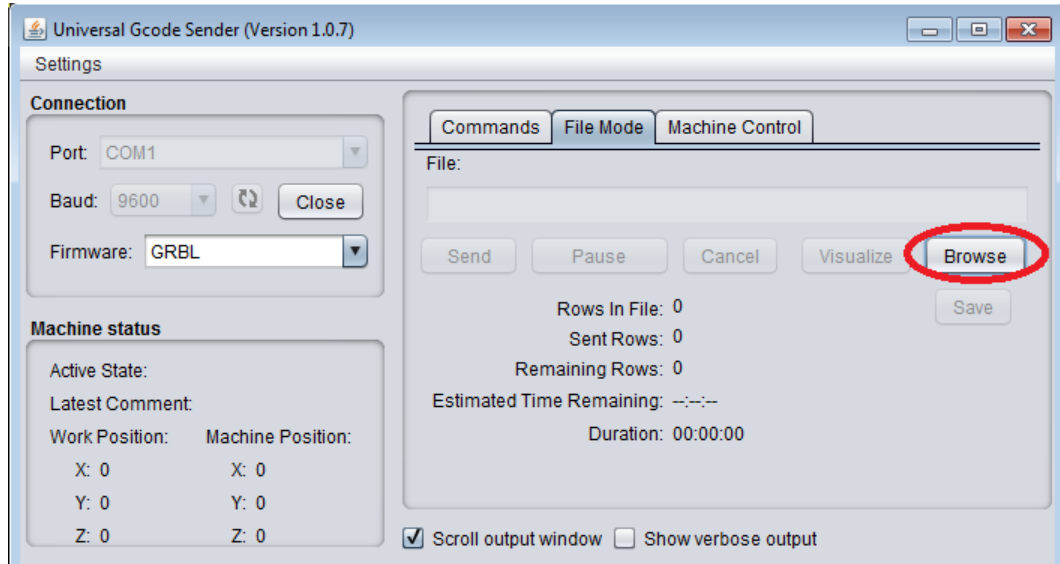
Para acceder a las opciones de configuración escribiremos en la pestaña comandos lo siguiente: \$\$ y presionaremos enter.



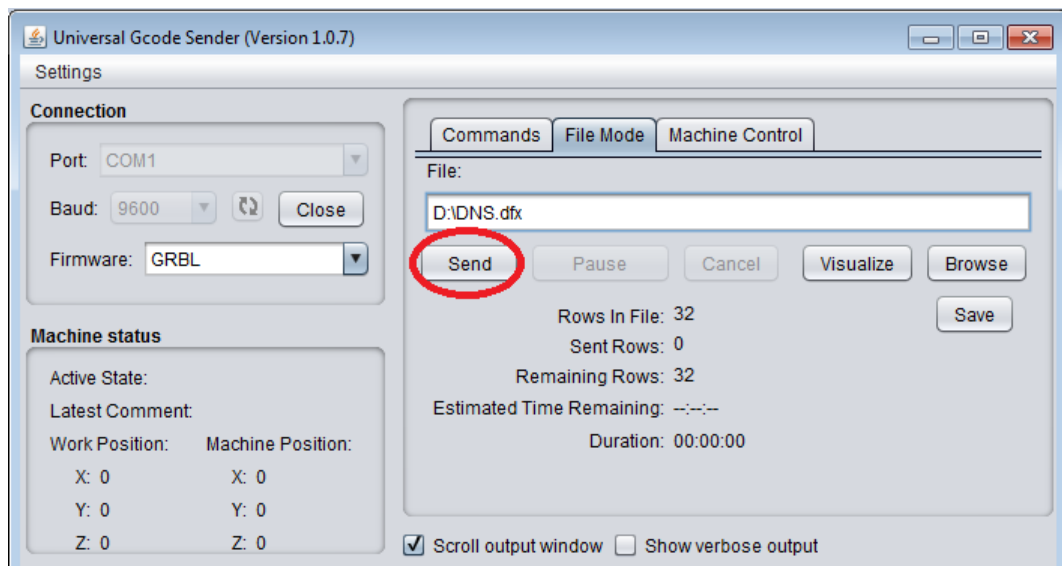
Las opciones aparecerán en la consola las opciones de configuración del interpretador Grbl.

La configuración para el módulo es la siguiente:

Para cargar la imagen haremos click en “browse”:

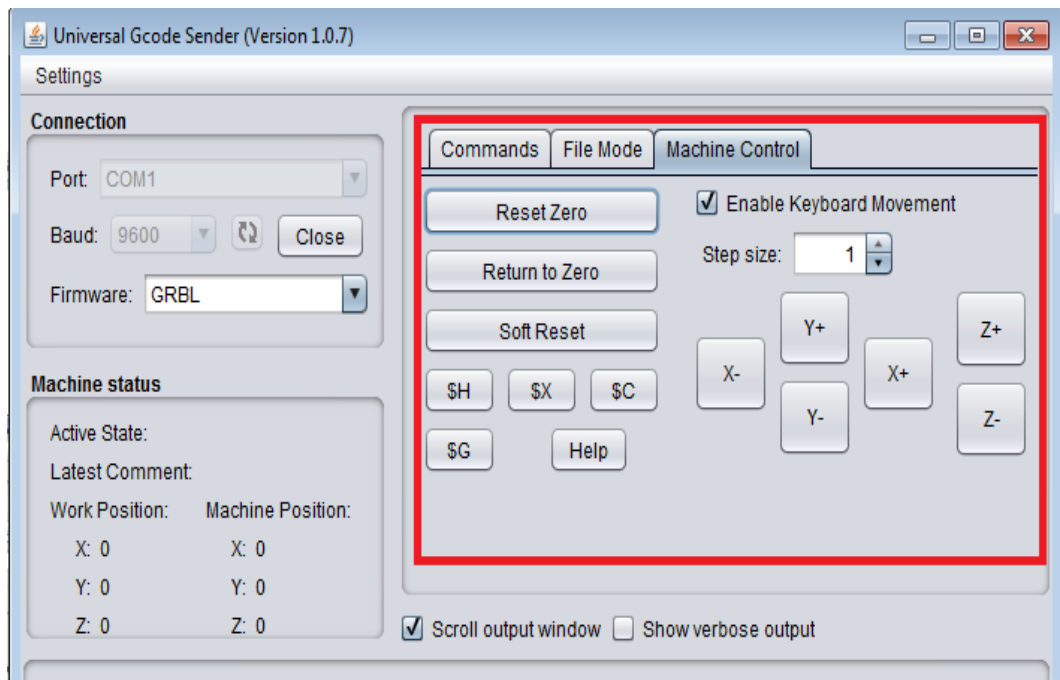


Saldrá una ventana donde ubicaremos nuestra imagen. Luego presionaremos “send”



La operación iniciará, se podrá pausar y reanudar las veces que se desee siempre en cuando no se desconecte el Arduino uno R-3 física o virtualmente desde programa.

Para realizar el control manual usar:



### **Desconexión segura.**

Parar si la operación se está ejecutando.

Bajar la llave termomagnética de los drivers.

Bajar la llave principal del módulo.

Desconectar Arduino uno R-3 desde el programa UniversalGcodeSender con el botón *closed*. Por último, físicamente retirando el cable USB 2.0 de la computadora.

### **Almacenaje del módulo.**

En lugares sin presencia de agua y humedad.