



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

*Instituto Tecnológico de Apizaco*

---

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR PARA  
DESARROLLAR UNA ACTIVIDAD  
SEGURA Y DE CALIDAD EN EL PROCESO DE MAQUINADO CNC**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA ELECTRONICA**

**PRESENTA:  
LULIETA SANDOVAL ORTEGA**

**NOMBRE DEL ASESOR:  
DR. CARLOS MANUEL ORTIZ LIMA**



**APIZACO, TLAX., OCTUBRE 2025**



**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco  
Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica  
Apizaco, Tlaxcala, **16/junio/2025**

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
No. OFICIO IEE/339/2025

Asunto: Liberación de Proyecto  
para la Titulación Integral

**ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**P R E S E N T E.**

Por este medio me permito informar a usted que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

|                             |                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del egresado:</b> | LULIETA SANDOVAL ORTEGA                                                                                                                            |
| <b>Carrera:</b>             | INGENIERÍA ELECTRÓNICA                                                                                                                             |
| <b>No. de Control:</b>      | 20370521                                                                                                                                           |
| <b>Nombre del proyecto:</b> | "ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR PARA DESARROLLAR UNA ACTIVIDAD SEGURA Y DE CALIDAD PARA EL PROCESO DE MAQUINADO EN EL DEPARTAMENTO DE CNC" |
| <b>Producto:</b>            | TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL                                                                                              |

Agradeciendo de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados, le envió un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica  
Pensar para Servir, Servir para Triunfar.*

**JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN**  
**JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA**  
**ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO  
DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
Y ELECTRÓNICA

Carlos Manuel Ortiz Lima  
Nombre del Asesor

c.c.p. Expediente



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,  
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)  
4172010 Ext. 145, e-mail: electronica@apizaco.tecnm.mx tecnm.mx |  
apizaco.tecnm.mx





**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco  
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala **05/noviembre/2025**

**SANDOVAL ORTEGA LULIETA**  
**EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA**  
**ELECTRÓNICA**  
**CON NÚMERO DE CONTROL 20370521.**  
**P R E S E N T E.**

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR PARA DESARROLLAR UNA ACTIVIDAD SEGURA Y DE CALIDAD PARA EL PROCESO DE MAQUINADO EN EL DEPARTAMENTO CNC**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

#### AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastado, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*Pensar para Servir, Servir para Triunfar®*

**CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**



ccp. Archivo

CYAL/rrc



**2025**  
Año de  
**La Mujer**  
**Indígena**

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,  
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010  
Ext. 304, e-mail: [dep\\_titulacion@apizaco.tecnm.mx](mailto:dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx) | [apizaco.tecnm.mx](http://apizaco.tecnm.mx)



## Agradecimientos

Al cerrar esta etapa tan importante en mi formación profesional, quiero primero agradecer a Dios por guiarme, darme fortaleza y permitirme llegar hasta aquí. Sin Su bendición, nada de esto habría sido posible.

A FUNHEDI, S.A. de C.V., gracias por confiar en mí y permitirme ser parte de su equipo en el área de CNC. Fueron más que un trabajo: aquí encontré compañeros que se convirtieron en maestros, retos que se transformaron en conocimientos y un ambiente que me hizo crecer no solo como profesional, sino como persona.

Al TecNM Campus Apizaco, mi querida alma mater, gracias por cimentar mi conocimiento con una formación sólida y por ser el lugar donde forjé no solo habilidades, sino también amistades y recuerdos invaluable.

A mis maestros y maestras, mi eterno agradecimiento por su paciencia, dedicación y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Ustedes son parte fundamental de lo que hoy soy.

Y finalmente, a mi familia y amigos... ¿qué decirles? Ustedes son mi raíz y mi motor. Gracias por aguantar mis ausencias, por celebrar mis logros como suyos y por estar ahí incluso cuando las cosas se ponían difíciles. Este logro es tan mío como suyo.

## RESUMEN

El presente proyecto fue desarrollado en las instalaciones de **FUNHEDI S.A. de C.V.**, una empresa mexicana dedicada a la manufactura industrial, especializada en la producción de componentes metálicos a través de procesos como el maquinado CNC y la fundición de piezas de aluminio. El proyecto se llevó a cabo durante un periodo de cuatro meses, comprendido entre el 10 de enero al 10 de mayo de 2025, tiempo en el cual se tuvo la oportunidad de involucrarse directamente en el entorno operativo y técnico de la empresa.

Desde el inicio, el proyecto se planteó con un enfoque práctico y de mejora continua, orientado a atender necesidades reales dentro de la planta. A lo largo del diagnóstico inicial se identificaron dos áreas críticas de producción que presentaban retos importantes: el departamento de maquinado CNC y el área de fundición. Ambas zonas son fundamentales para el flujo de trabajo de la empresa, ya que representan etapas clave en la transformación del aluminio desde su estado fundido hasta su configuración final como pieza terminada.

En el área de maquinado CNC, se observó que algunos procesos sufrían interrupciones frecuentes por desajustes en los parámetros de operación y desgaste prematuro de herramientas, lo cual no solo afectaba la calidad dimensional de las piezas, sino que también generaba tiempos muertos considerables. Además, el

seguimiento manual de ciertos procesos generaba dependencia del operador, lo que podía ocasionar variaciones entre lotes de producción.

Por otro lado, en la sección de fundición, el análisis reveló dificultades relacionadas con el control de temperatura del metal fundido, el llenado inadecuado de moldes y problemas mecánicos en las máquinas porta moldes, específicamente en los sistemas de basculamiento. Estas fallas podían comprometer tanto la integridad de las piezas como la seguridad del personal, ya que el manejo de aluminio a altas temperaturas implica riesgos considerables si no se cuenta con controles adecuados.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se trabajó en estrecha colaboración con el personal de producción, técnicos y supervisores de cada área, con el objetivo de comprender a fondo los procesos y detectar puntos de mejora realistas y viables dentro del contexto de operación de la empresa. Esta interacción permitió no solo enriquecer el análisis técnico, sino también valorar la experiencia y el conocimiento práctico de quienes operan diariamente los equipos.

Este proyecto representó una valiosa oportunidad para aplicar conocimientos técnicos en un entorno real de manufactura, enfocado en mejorar la eficiencia, calidad y seguridad de procesos esenciales para la operación de FUNHEDI S.A. de C.V. Los hallazgos y propuestas derivados de esta experiencia sientan las bases para futuras mejoras dentro de la planta, al tiempo que fortalecen la conexión entre la teoría académica y la práctica industrial.

## Contenido

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| GLOSARIO .....                             | 5  |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....             | 5  |
| 1.1 Contexto industrial .....              | 5  |
| 1.2 Problemática detectada .....           | 6  |
| 1.3 Justificación técnica y económica..... | 6  |
| 1.4 Objetivos .....                        | 7  |
| Objetivo general .....                     | 7  |
| Objetivos específicos.....                 | 7  |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....             | 8  |
| 2.1 Maquinado CNC .....                    | 8  |
| Teoría general.....                        | 8  |
| Componentes principales.....               | 9  |
| 2.2 Fundición por gravedad.....            | 16 |
| Proceso de fundición.....                  | 16 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Variables del proceso .....                           | 16 |
| 2.3 Sensores industriales.....                        | 17 |
| Tipos de sensores .....                               | 17 |
| Aplicaciones industriales.....                        | 17 |
| 2.4 Control automático .....                          | 18 |
| PLC y su funcionamiento .....                         | 18 |
| Lógica de control .....                               | 18 |
| CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....                          | 18 |
| 3.1 Diagrama Gantt del proyecto .....                 | 19 |
| 3.2 Herramientas utilizadas.....                      | 21 |
| a)Proteus .....                                       | 21 |
| b) Equipos de medición.....                           | 22 |
| Multímetro digital .....                              | 22 |
| 3.3 Protocolos de seguridad.....                      | 22 |
| a) Seguridad personal.....                            | 23 |
| b) Seguridad eléctrica.....                           | 23 |
| c) Seguridad en la instalación.....                   | 23 |
| CAPÍTULO 4: DESARROLLO TÉCNICO .....                  | 23 |
| 4.1 Estandarización CNC.....                          | 24 |
| 4.1.1 Proceso de documentación de habilitaciones..... | 24 |
| 4.1.2 Diseño de guías interactivas .....              | 24 |
| 4.2 Instalación del Limit Switch .....                | 25 |
| 4.2.1 Selección del sensor .....                      | 25 |
| 4.2.2 Proceso de instalación.....                     | 26 |
| Evidencias incluidas .....                            | 26 |
| CONCLUSION .....                                      | 26 |
| REFERENCIAS.....                                      | 27 |
| ANEXOS .....                                          | 29 |

## GLOSARIO

**Avance por diente (fz):** Cantidad de material removido por cada filo de la herramienta durante el maquinado, expresado en milímetros por diente (mm/diente).

**EPP (Equipo de Protección Personal):** Conjunto de elementos destinados a proteger al operario de riesgos laborales, como goggles, guantes dieléctricos, protectores auditivos, etc.

**G-code:** Lenguaje de programación utilizado para controlar los movimientos y funciones de las máquinas CNC. Define trayectorias, velocidades y operaciones específicas.

**Sobrematerial:** Exceso de material dejado intencionalmente durante el desbaste para permitir un acabado final más preciso. Por ejemplo, 0.5 mm en procesos de fresado.

**TiAlN (Nitruro de Titanio-Aluminio):** Recubrimiento compuesto por titanio (Ti), aluminio (Al) y nitrógeno (N). Tiene un color característico violeta oscuro o negro y mejora la resistencia térmica y al desgaste de las herramientas.

**TiN (Nitruro de Titanio):** Recubrimiento compuesto por titanio (Ti) y nitrógeno (N). Se distingue por su color dorado brillante y es usado para aumentar la dureza superficial y prolongar la vida útil de herramientas de corte.

**Torno-fresado:** Operación de mecanizado combinada que implica la rotación simultánea de la pieza (como en un torno) y de la herramienta (como en un fresado), permitiendo realizar cortes complejos y eficientes.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Contexto industrial

La industria manufacturera en México representa un motor clave para el desarrollo económico del país, especialmente en regiones donde las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs) constituyen el núcleo de la actividad productiva. Entre los sectores más representativos se encuentra el metalmecánico, que abarca desde la fundición de metales hasta el maquinado de piezas de precisión. Estas actividades son esenciales para la cadena de suministro de industrias como la automotriz, la de electrodomésticos, y la de maquinaria pesada (INEGI, 2021).

En este contexto, la empresa **FUNHEDI S.A. de C.V.**, ubicada en el estado de Tlaxcala, se dedica principalmente a la fundición por gravedad de piezas metálicas y a su posterior maquinado. A pesar de contar con maquinaria funcional, es común que muchas empresas como ésta enfrenten limitaciones tecnológicas relacionadas con la automatización, mantenimiento predictivo y seguridad industrial. Esto se

traduce en una necesidad urgente de optimizar procesos mediante soluciones prácticas y económicas, que permitan aumentar la productividad sin comprometer la seguridad del personal ni la calidad del producto final.

Gracias a la experiencia adquirida durante la residencia profesional en dicha empresa, fue posible identificar áreas de mejora en los procesos de operación de sus equipos, en especial en la máquina de fundición por gravedad, la cual carece de ciertos elementos de control y seguridad que podrían prevenir fallos durante el vaciado del material fundido.

## 1.2 Problemática detectada

Durante la operación de la máquina de fundición, se observó que el giro que permite el vaciado del metal fundido frecuentemente excede el ángulo adecuado, lo cual genera derrames, deformación en el molde e incluso posibles accidentes. Este problema se origina en la ausencia de un sistema de control de posición o de parada automática que limite el movimiento del balancín al ángulo óptimo.

Actualmente, el operador debe confiar en su experiencia y en la observación visual para detener el giro en el momento correcto. Esta dependencia del juicio humano incrementa el riesgo de error, especialmente en jornadas largas o bajo presión de producción. Adicionalmente, debido a políticas internas de la empresa, no es posible realizar modificaciones en el código del PLC que controla el sistema principal, lo que limita las opciones tradicionales de automatización.

Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar un sistema auxiliar e independiente que permita detener o limitar el movimiento del mecanismo sin intervenir directamente en el sistema de control existente, respetando así las condiciones operativas y las restricciones técnicas de la empresa.

## 1.3 Justificación técnica y económica

La solución propuesta consiste en la implementación de un **limit switch** o interruptor de límite, acompañado de un sensor que detecte la posición angular de la estructura móvil. Este tipo de dispositivos son ampliamente utilizados en entornos industriales debido a su robustez, bajo costo y facilidad de integración (Mohan, 2018). El limit switch actúa como un punto de referencia físico que puede abrir o cerrar un circuito, permitiendo detener el movimiento del motor o enviar una señal de advertencia una vez alcanzado el ángulo deseado.

Desde una perspectiva técnica, este tipo de implementación no requiere modificaciones al PLC ni al código de control existente, ya que se puede conectar directamente al sistema de alimentación del motor o en paralelo con un relevador de seguridad. Esta característica lo convierte en una solución ideal para entornos donde existen restricciones de acceso a los sistemas programables.

En cuanto al aspecto económico, el costo de instalación de este sistema es significativamente menor comparado con los costos que podrían derivarse de un accidente industrial, daño al equipo o pérdida de producto por un vaciado inadecuado. Según estudios recientes, el 80 % de los fallos mecánicos pueden prevenirse mediante la implementación de sensores de límite o sistemas de paro de emergencia (Lipták, 2016).

Además, al mejorar la precisión en el ángulo de vaciado, se contribuye a una mayor calidad del producto terminado, una reducción en el desperdicio de material y una disminución en la variabilidad del proceso, lo cual también representa un ahorro significativo a mediano plazo.

Por último, este tipo de proyecto permite aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Electrónica, integrando disciplinas como automatización, diseño de circuitos, control eléctrico y seguridad industrial, dentro de un entorno real de producción.

## 1.4 Objetivos

### Objetivo general

Implementar un sistema auxiliar de control basado en un *limit switch* y un sensor de posición para una máquina de fundición por gravedad en la empresa FUNHEDI S.A. de C.V., con el fin de mejorar la seguridad operativa, reducir errores en el proceso de vaciado y prevenir daños estructurales, sin modificar la programación del PLC existente.

### Objetivos específicos

- **Analizar el funcionamiento actual de la máquina de fundición**, identificando los puntos críticos del movimiento rotativo que afectan el proceso.
- **Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos adecuados**, incluyendo el limit switch y el sensor de posición, según las condiciones del entorno industrial.
- **Diseñar e instalar el sistema auxiliar**, que funcione como límite físico o eléctrico en el punto deseado de operación.
- **Realizar pruebas de validación del sistema**, verificando su efectividad y seguridad durante el proceso productivo.
- **Elaborar un informe técnico con la documentación del diseño**, pruebas realizadas y resultados obtenidos, con propuestas para futuras mejoras.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Maquinado CNC

#### Teoría general

En este capítulo se abordan los fundamentos técnicos y conceptuales que sustentan el desarrollo del proyecto realizado durante la residencia profesional en la empresa FUNHEDI S.A. de C.V. La importancia de este marco teórico radica en proporcionar el contexto necesario para comprender de manera integral las mejoras implementadas en los procesos de producción, particularmente en la máquina de fundición por gravedad, donde se identificaron diversas áreas de oportunidad relacionadas con el control y la seguridad operacional.

El entorno industrial en el que se desarrolló el proyecto se caracteriza por el uso de maquinaria especializada y por la necesidad de mantener estándares de calidad y seguridad adecuados en cada etapa de producción. Para comprender la solución propuesta basada en la integración de un *limit switch* y un sistema auxiliar de control, es indispensable analizar conceptos clave relacionados con la automatización industrial. En este sentido, se incluyen en el presente capítulo los temas de maquinado CNC, fundición por gravedad, sensores industriales y control automático mediante PLC, ya que todos ellos representan pilares fundamentales en los sistemas modernos de manufactura.

El maquinado CNC, por ejemplo, es un proceso ampliamente utilizado en la empresa para dar forma y acabado a las piezas fundidas. Su precisión depende tanto del correcto funcionamiento mecánico como de su programación. Por otro lado, la fundición por gravedad constituye el proceso inicial de la transformación del metal, donde las variables físicas como la temperatura, el ángulo de vertido y el diseño del molde influyen de manera directa en la calidad del producto final.

Asimismo, los sensores industriales, en especial los sensores de posición como el *limit switch*, son esenciales para garantizar la detección oportuna de condiciones de operación. Finalmente, el conocimiento del funcionamiento de los controladores lógicos programables (PLC) permite entender cómo se automatizan los procesos y cómo se pueden desarrollar soluciones complementarias sin modificar la lógica de programación existente.

En conjunto, estos conceptos técnicos no sólo fortalecen el entendimiento del proyecto, sino que también reflejan la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería en Electrónica, contribuyendo a la formación integral del estudiante y a la mejora continua del entorno productivo.

El maquinado CNC (Control Numérico por Computadora, por sus siglas en inglés) es un proceso ampliamente utilizado en la industria manufacturera para fabricar piezas con alta precisión y repetibilidad. Este tipo de maquinado automatiza las operaciones que anteriormente se realizaban manualmente, como el torneado,

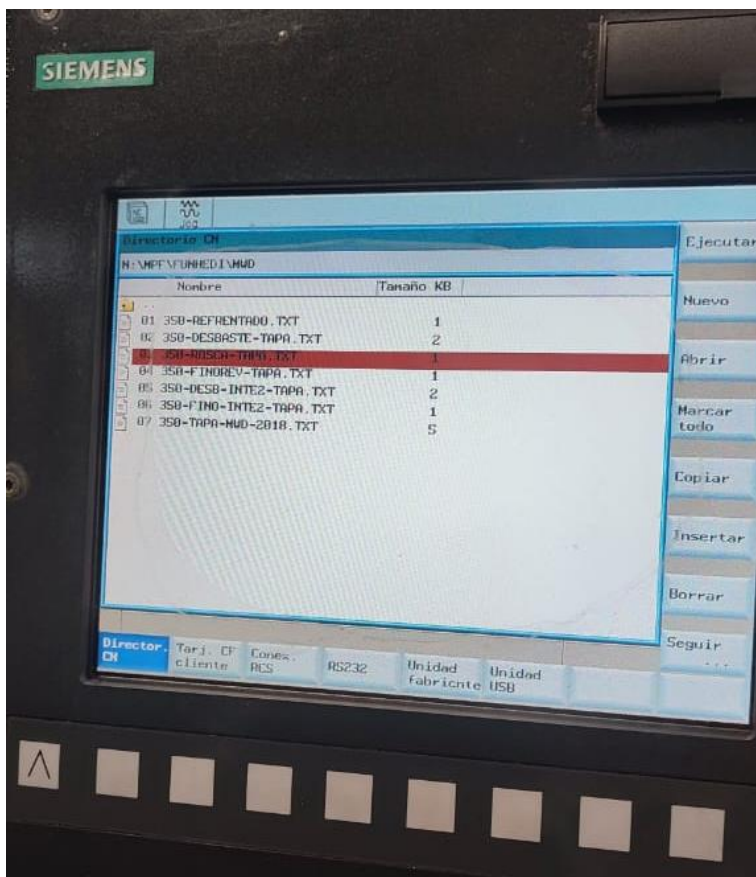
fresado, perforado y corte, al utilizar códigos programables que indican a la máquina qué trayectorias seguir, qué herramientas usar y qué parámetros aplicar (García, 2020).

La programación CNC se realiza generalmente en lenguaje G-Code, el cual define movimientos lineales, rotaciones, velocidades de avance y otras variables necesarias para ejecutar una operación de forma controlada. Esto permite fabricar componentes complejos con tolerancias muy estrechas, lo cual es esencial en sectores como el automotriz, aeroespacial o médico.

### Componentes principales

Una máquina CNC está compuesta por varios subsistemas que interactúan entre sí:

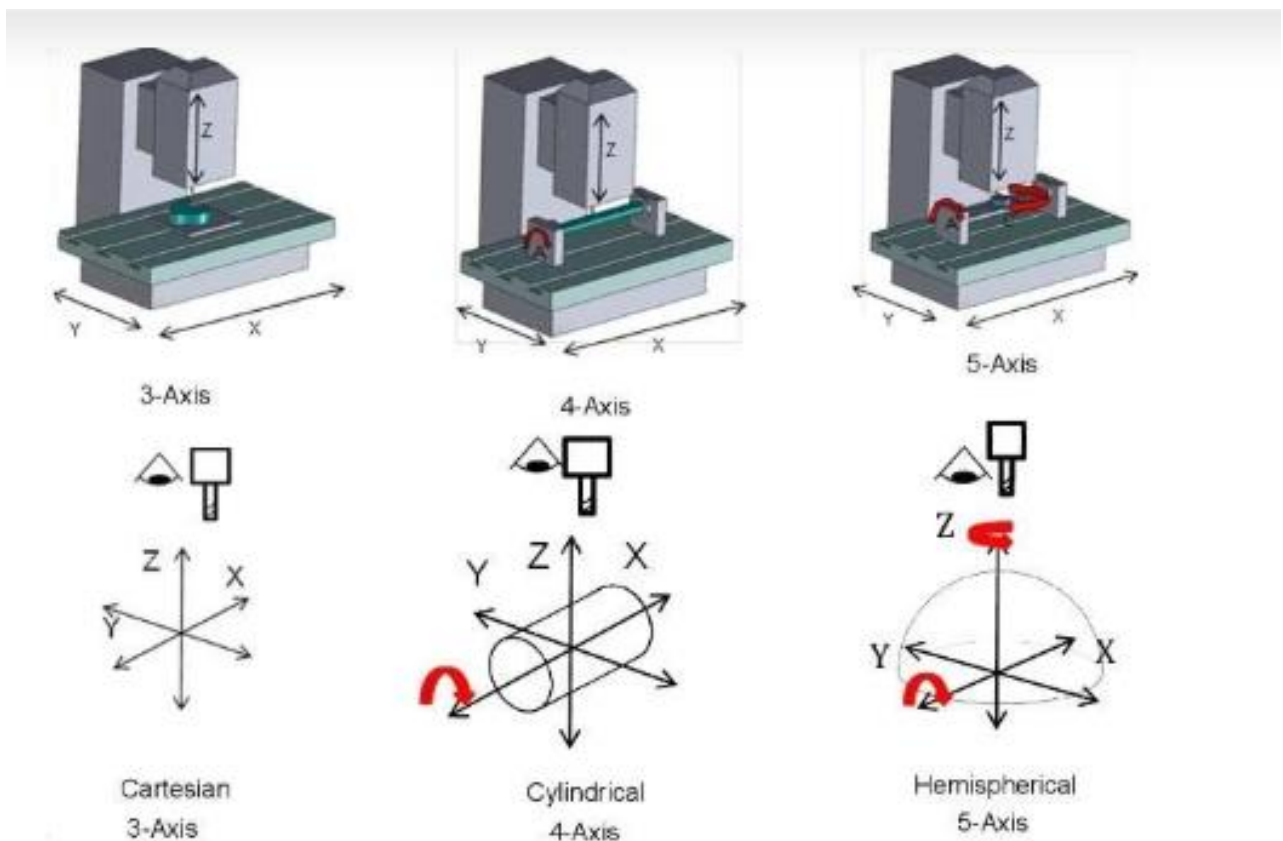
**Controlador CNC:** Es la unidad que interpreta el programa y traduce las instrucciones en movimientos precisos. Controla los motores, sensores y actuadores de la máquina.



**Figura 1.** Controlador de la máquina CNC instalada en el área de producción de FUNHEDI S.A. de C.V. *Fotografía tomada por la autora (2025).*

**Ejes de movimiento (X, Y, Z):** En un centro de maquinado CNC, los **ejes de movimiento** son fundamentales para el posicionamiento y desplazamiento de la herramienta o la pieza. Los **ejes X, Y y Z** permiten el movimiento lineal en las tres dimensiones del espacio:

- **Eje X:** movimiento horizontal (izquierda ↔ derecha)
- **Eje Y:** movimiento vertical en el plano de trabajo (adelante ↔ atrás)
- **Eje Z:** movimiento vertical perpendicular al plano (arriba ↔ abajo)
- Este sistema tridimensional facilita cortes desde diferentes ángulos, lo que es esencial para la fabricación de piezas de geometría compleja.



**Figura 2.** Representación de los ejes X, Y y Z en un centro de maquinado CNC.  
*Fuente: HiTop Industrial (s.f).*

**Herramientas de corte:** Los instrumentos de corte representan elementos esenciales en los procesos de fabricación asistidos por control numérico, puesto que tienen la función de modelar la materia prima mediante la eliminación

sistemática de material sobrante. La selección de estos implementos está condicionada por diversos aspectos, entre los que destacan:

- La naturaleza del material a trabajar
- Las características dimensionales del componente
- Los parámetros operativos de velocidad
- Las capacidades del equipo CNC utilizado
- Los requerimientos de rugosidad superficial
- Principales variedades de instrumentos de corte:
- Fresas:  
Diseñadas específicamente para labores de fresado, estas herramientas se presentan en diversas configuraciones geométricas:
  - De extremo plano (para superficies planas)
  - Esféricas (para perfiles curvos)
  - Angulares (para chaflanes y detalles específicos)  
Sus aplicaciones abarcan desde el mecanizado de superficies uniformes hasta la creación de geometrías tridimensionales complejas.
- Brocas:  
Instrumentos especializados en la generación de perforaciones con medidas exactas, tanto en diámetro como en profundidad. Su elección se fundamenta en:
  - Las propiedades del material base
  - Los requerimientos dimensionales del orificio
  - Las condiciones específicas de operación
- Pastillas de corte (insertos):  
Componentes intercambiables fabricados en materiales ultraresistentes como el carburo de wolframio, destacados por su:
  - Excepcional resistencia al desgaste
  - Capacidad para trabajar materiales de alta dureza
  - Larga vida operativa en condiciones exigentes
- Características técnicas relevantes:  
Cada instrumento presenta atributos particulares que determinan su desempeño:

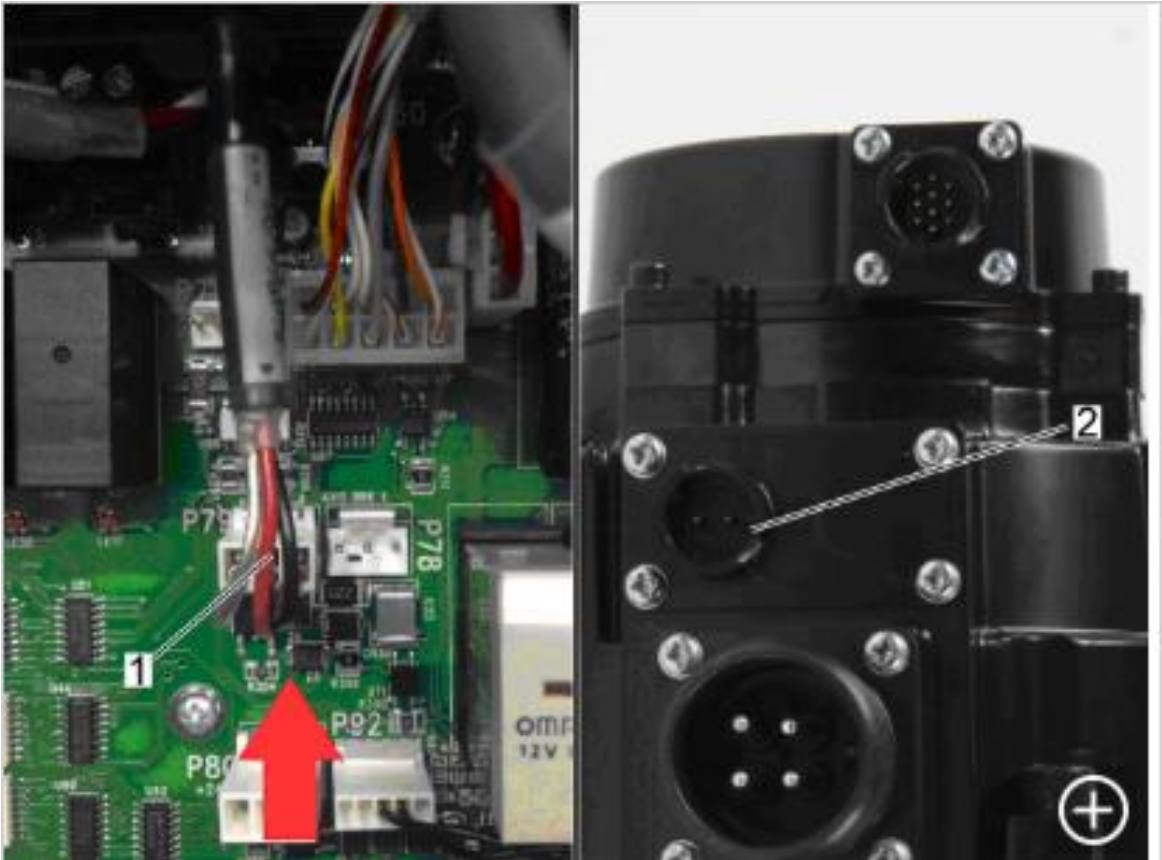
- Cantidad de filos cortantes
- Ángulo de ataque
- Revestimientos especializados (TiN, TiAlN, etc.)
- Velocidades máximas de operación
- Configuración del mango
- Parámetros operativos críticos:  
Para garantizar un rendimiento óptimo y maximizar la durabilidad, es fundamental regular:
- Avance por filo (fz)
- Velocidad de giro (n)
- Profundidad de corte
- Sistema de refrigeración/lubricación
- Impacto en la producción: Una adecuada gestión de estos elementos influye directamente en:
- La precisión dimensional del producto terminado
- La eficiencia del proceso productivo
- Los costos asociados a la operación
- La consistencia en la calidad superficial

La implementación de protocolos de selección y mantenimiento adecuados permite optimizar el proceso de mecanizado, asegurando resultados técnicamente superiores y económicamente eficientes.



**Figura 3:** Fotografía tomada por la autora (2025) en el taller de producción de FUNHEDI S.A. de C.V., donde se aprecian fresas, brocas y herramientas de inserto empleadas en operaciones de maquinado CNC.

**Motores paso a paso o servomotores:** Se encargan de mover los ejes con precisión controlada.



**Figura 4.** Servomotor Sigma 5 de eje utilizado en máquinas CNC de precisión. *Imagen recuperada de Haas Automation Inc. (s.f.).*

**Interfaz hombre-máquina (HMI):** La Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés *Human-Machine Interface*) es un componente esencial en los sistemas de automatización industrial, y especialmente en las máquinas CNC. Esta interfaz actúa como un puente entre el operador y la máquina, permitiendo la comunicación efectiva en ambas direcciones.

A través de la HMI, el operador puede realizar tareas críticas como:

- **Cargar programas CNC:** Se introducen o seleccionan archivos de código G que contienen las instrucciones para ejecutar un proceso de maquinado específico.
- **Ajustar parámetros de operación:** El operador puede modificar variables como velocidad de avance, profundidad de corte, revoluciones por minuto (RPM), y ciclos de refrigeración, de acuerdo con las necesidades de producción.
- **Supervisar el proceso en tiempo real:** Las pantallas HMI muestran información vital como la posición del cabezal, alarmas del sistema, tiempo

restante de ejecución, y mensajes de diagnóstico que permiten detectar fallos o comportamientos anómalos.

- **Realizar mantenimiento o pruebas:** A través de modos manuales o semi-automáticos, se pueden ejecutar rutinas de prueba o mantenimiento directamente desde la interfaz.

Las HMI modernas utilizan pantallas táctiles, paneles gráficos y software intuitivo que mejora la ergonomía del puesto de trabajo, reduce errores y aumenta la eficiencia operativa. Su diseño debe ser robusto y adecuado para el entorno industrial, donde factores como el polvo, las vibraciones o los cambios de temperatura pueden afectar el equipo.

El papel de la HMI se vuelve aún más importante cuando se integran sistemas más complejos como redes de monitoreo remoto, sistemas SCADA o plataformas de mantenimiento predictivo, ya que permite visualizar datos y tomar decisiones de forma inmediata.



**Figura 5.** Interfaz Hombre-Máquina (HMI) de la máquina CNC en área de producción. *Fotografía tomada por la autora (2025) en la planta de FUNHEDI S.A. de C.V., donde se muestra la pantalla operativa utilizada para carga de programas y monitoreo de parámetros del proceso.*

La precisión y eficiencia del maquinado CNC dependen no sólo de su programación, sino también del mantenimiento adecuado de cada componente y de la correcta calibración de la máquina.

## 2.2 Fundición por gravedad

### Proceso de fundición

La fundición por gravedad es una técnica tradicional de fabricación que consiste en verter metal fundido en un molde, aprovechando únicamente la fuerza de gravedad para llenar la cavidad. Una vez que el metal se enfría y solidifica, se extrae la pieza moldeada para su posterior tratamiento o maquinado. Este proceso es especialmente adecuado para la producción de componentes de aluminio, bronce o hierro fundido (Campbell, 2015).

A diferencia de otros procesos como la inyección a presión, la fundición por gravedad tiene la ventaja de requerir moldes menos costosos y producir piezas de buena resistencia estructural con bajo contenido de porosidad.

### Variables del proceso

El éxito del proceso de fundición por gravedad depende de múltiples variables, entre las que destacan:

- **Temperatura del metal:** Un exceso o deficiencia en la temperatura puede afectar la fluidez del metal, la llenabilidad del molde y la estructura del grano del material.
- **Diseño del molde:** La geometría de la cavidad, los canales de alimentación y la ventilación afectan directamente la calidad de la pieza final.
- **Tiempo de vertido:** Un vertido demasiado rápido o lento puede causar turbulencias, inclusiones de aire o llenado incompleto.
- **Ángulo de inclinación:** En las máquinas de fundición inclinadas, el ángulo debe controlarse con precisión para asegurar un vaciado uniforme.

En el caso específico del proyecto desarrollado en FUNHEDI S.A. de C.V., se observó que la máquina de fundición no contaba con un sistema para detenerse en

el ángulo correcto, lo que generaba inconsistencias en el proceso. Esto demuestra la importancia de controlar mecánicamente estas variables críticas.

## 2.3 Sensores industriales

### Tipos de sensores

Los sensores industriales son dispositivos diseñados para detectar cambios físicos o químicos en su entorno y convertirlos en señales eléctricas. Se utilizan ampliamente en procesos automatizados para monitorear variables como posición, temperatura, presión, nivel, velocidad y presencia de objetos (Bentley, 2005).

Los principales tipos de sensores utilizados en la industria incluyen:

- **Sensores de proximidad:** Detectan la presencia de objetos sin contacto físico. Pueden ser inductivos (para metales), capacitivos (para materiales no metálicos), ópticos o ultrasónicos.
- **Sensores de posición:** Como los *limit switches* o encoders rotatorios, que detectan el movimiento o la ubicación de un componente mecánico.
- **Sensores de temperatura:** Utilizan termopares o RTDs para monitorear procesos térmicos.
- **Sensores de presión y nivel:** Usados en sistemas hidráulicos o tanques de almacenamiento.

### Aplicaciones industriales

En líneas de producción, los sensores permiten realizar tareas como:

- Parar un actuador al llegar a una posición límite.
- Detectar si una pieza está correctamente posicionada.
- Medir la velocidad de un motor.
- Activar alarmas o mecanismos de seguridad en caso de condiciones anómalas.

En este proyecto se utilizó un **limit switch**, el cual es un sensor de contacto que actúa como interruptor mecánico. Cuando el brazo móvil de la máquina alcanza cierto punto, el interruptor se activa y genera una señal que puede cortar el suministro eléctrico o enviar una alerta. Esta solución es sencilla, confiable y ampliamente usada en maquinaria industrial debido a su resistencia y facilidad de instalación.

## 2.4 Control automático

### PLC y su funcionamiento

Un **Controlador Lógico Programable (PLC)** es un dispositivo electrónico diseñado para realizar tareas de automatización mediante la lectura de entradas, procesamiento lógico y activación de salidas. Su uso está muy extendido en fábricas y plantas industriales donde se requiere un control preciso, robusto y confiable (Petruszella, 2010).

El PLC se programa mediante lenguajes como *ladder* (diagrama de escalera), *texto estructurado* o *diagrama de bloques funcionales*, lo que permite adaptar el control a diferentes tipos de procesos: desde el arranque de un motor hasta el control de una celda robotizada.

### Lógica de control

La lógica de control que implementa un PLC se basa en la secuencia de operaciones del sistema:

1. Leer entradas: sensores, botones, interruptores.
2. Procesar información: según la lógica programada.
3. Activar salidas: motores, solenoides, alarmas, etc.

En el caso de FUNHEDI S.A. de C.V., el PLC controla los actuadores de la máquina de fundición, pero debido a que su programación no puede modificarse por restricciones técnicas o administrativas, se optó por diseñar un sistema de control **externo y auxiliar** que funcione de manera complementaria. Esto resalta la flexibilidad que puede lograrse al combinar controles automáticos con soluciones prácticas, como el uso de sensores independientes que actúan sobre la alimentación eléctrica o mecánica del sistema sin comprometer el funcionamiento original del PLC.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto requirió una planeación estructurada, así como el uso de herramientas técnicas específicas que permitieran alcanzar de forma efectiva los objetivos planteados desde el inicio de la residencia profesional. La metodología aplicada se diseñó con base en un enfoque tanto práctico como técnico, considerando las condiciones reales del entorno de trabajo y las necesidades particulares de la empresa **FUNHEDI S.A. de C.V.**, en donde se llevaron a cabo las mejoras al sistema de fundición por gravedad. Esta metodología no solo permitió un avance ordenado en cada fase del proyecto, sino que también facilitó la integración

de conocimientos adquiridos durante la carrera de **Ingeniería en Electrónica** con las exigencias del entorno industrial.

Para garantizar el cumplimiento de los tiempos establecidos y mantener una adecuada organización de las actividades, se elaboró un **diagrama de Gantt**, el cual sirvió como una herramienta de gestión visual para planificar, coordinar y monitorear el progreso de cada etapa. Desde la detección del problema hasta la instalación y validación de la solución propuesta, cada actividad fue cuidadosamente calendarizada.

El proyecto contempló el uso de diferentes **herramientas tecnológicas**, tanto a nivel de software como de instrumentos físicos de medición. Entre ellas destacan **SolidWorks**, utilizado para el diseño tridimensional de componentes, En cuanto a los equipos, se utilizó un **multímetro digital** para validar señales, verificar continuidad eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos instalados.

Adicionalmente, como parte de las actividades complementarias realizadas durante la estancia, se elaboraron las **hojas de habilitación para maquinaria CNC** (ver nexo), las cuales documentan los parámetros, herramientas y procedimientos necesarios para el maquinado de piezas específicas. Estas hojas resultan fundamentales para estandarizar operaciones en la planta, reducir errores en producción y asegurar una trazabilidad técnica confiable, beneficiando directamente la eficiencia de los procesos.

Por otro lado, se consideraron en todo momento los **protocolos de seguridad industrial**, tanto eléctricos como mecánicos, que garantizaron un entorno de trabajo seguro durante la instalación y pruebas del sistema. El uso de equipo de protección personal (EPP), la capacitación previa y las medidas de aislamiento de energía fueron prácticas fundamentales que formaron parte integral de la metodología aplicada.

En conjunto, todos estos elementos permitieron desarrollar un proyecto sólido, organizado y alineado con las expectativas de la empresa, demostrando la capacidad del residente para aplicar sus conocimientos en un contexto profesional real.

### 3.1 Diagrama Gantt del proyecto

Para garantizar una ejecución ordenada y eficiente del proyecto, se elaboró un **diagrama de Gantt** que sirviera como guía para planificar las actividades desde el diagnóstico inicial hasta la instalación y prueba del sistema. Esta herramienta permitió visualizar los tiempos asignados a cada fase y dar seguimiento puntual a los avances.

| Actividad                                         |   | Enero |       |       |       | Febrero |       |       |       | Marzo |       |       |       | Abril |       |       |       | Mayo  |       |       |       |
|---------------------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                   |   | Sem1  | Sem 2 | Sem 3 | Sem 4 | Sem 1   | Sem 2 | Sem 3 | Sem 4 | Sem 1 | Sem 2 | Sem 3 | Sem 4 | Sem 1 | Sem 2 | Sem 3 | Sem 4 | Sem 1 | Sem 2 | Sem 3 | Sem 4 |
| Análisis del proceso actual en CNC                | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Recolección de datos del panel de control         | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Desarrollo de guías para habilitación de máquinas | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Selección y adquisición de materiales             | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Implementación de monitoreo con sensores          | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Evaluación del impacto de los procedimientos      | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ajustes y optimización de procedimientos          | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Elaboración del informe final                     | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Presentación y cierre del proyecto                | P |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   | R |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                   |   |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Las principales etapas incluidas en el cronograma fueron:

- **Semana 1-2:** Diagnóstico de procesos y detección de la problemática.
- **Semana 3-4:** Levantamiento de información técnica y análisis del sistema.
- **Semana 5-6:** Desarrollo de guías para habilitación de máquinas.
- **Semana 7-8:** Selección y adquisición de materiales.
- **Semana 9-10:** Instalación del limit switch y sistema de control auxiliar.
- **Semana 11:** Pruebas funcionales y ajustes mecánicos.
- **Semana 12:** Validación del sistema y entrega de resultados.

- **Semana 13:** Elaboración del informe final.
- **Semana 14:** Presentación y cierre del proyecto.

Si bien el cronograma inicial planteaba un desarrollo lineal, durante la ejecución fue necesario realizar algunos ajustes que, lejos de representar desviaciones, optimizaron los resultados: *El plan perfecto era nuestro punto de partida, pero la flexibilidad estratégica fue lo que realmente nos llevó a la meta."*

#### **Lección aprendida:**

Los mejores cronogramas son aquellos que saben evolucionar. Las modificaciones no fueron fracasos, sino **mejoras en tiempo real** basadas en datos duros y retroalimentación del taller.

### **3.2 Herramientas utilizadas**

Durante la ejecución del proyecto fue necesario apoyarse en diferentes herramientas técnicas, tanto digitales como físicas, que facilitaron el diseño, la simulación, el diagnóstico y la instalación del sistema.

#### **a) Software**

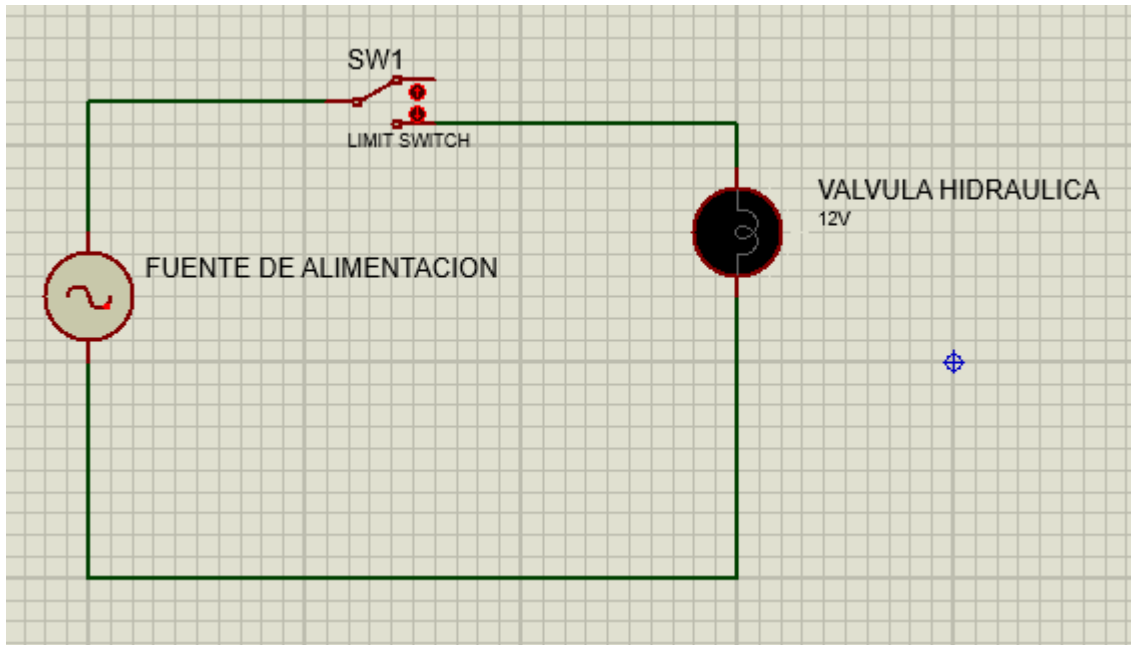
##### **SolidWorks**

Se utilizó el software **SolidWorks** para diseñar los componentes de montaje del riel en la máquina portamoldes. Este software permitió modelar con precisión las piezas necesarias, asegurando su correcta integración en el conjunto mecánico. Esta herramienta permitió visualizar el sistema mecánico de forma detallada, anticipando interferencias o ajustes necesarios antes de realizar la instalación real. También se generaron planos técnicos que sirvieron como referencia para la perforación y fijación de los elementos (Ver anexo D).

##### **a)Proteus**

Este software fue utilizado para elaborar los diagramas eléctricos que representan las conexiones del sistema de control auxiliar. Su uso permitió definir de forma clara la relación entre los sensores, el suministro eléctrico y los dispositivos de protección, asegurando que las conexiones cumplieran con los estándares de seguridad industrial.

Ambos programas permitieron ahorrar tiempo, reducir errores y mejorar la comunicación entre el residente, los técnicos de planta y los supervisores del proyecto.



**Figura 6.** Simulación en proteus del funcionamiento de el interruptor de límite en la maquina porta moldes.

## b) Equipos de medición

### Multímetro digital

El multímetro fue empleado para realizar pruebas de continuidad, verificar el voltaje de alimentación del sistema y medir la resistencia de los contactos del *limit switch* antes y después de su instalación. Esto aseguró que las señales eléctricas llegaran correctamente a cada componente.

El uso de este instrumento fue clave para garantizar que la implementación fuera segura, funcional y técnicamente precisa.

## 3.3 Protocolos de seguridad

La seguridad fue un aspecto prioritario durante todo el desarrollo del proyecto, especialmente por tratarse de una máquina industrial que trabaja con metales fundidos a altas temperaturas. A lo largo del proceso, se implementaron diversos protocolos y medidas para minimizar riesgos tanto para el personal como para el equipo.

#### a) Seguridad personal

- **Equipo de protección personal (EPP):** Durante todas las actividades se utilizó EPP obligatorio, incluyendo guantes dieléctricos, lentes de seguridad, botas industriales y casco.
- **Capacitación previa:** Antes de intervenir el sistema, se recibió capacitación en seguridad industrial proporcionada por el área de salud y seguridad de FUNHEDI S.A. de C.V., con énfasis en procedimientos de bloqueo y etiquetado (*lockout/tagout*).

#### b) Seguridad eléctrica

- **Desconexión de la máquina:** Antes de realizar cualquier conexión eléctrica o instalación de sensores, se verificó que la máquina estuviera totalmente desconectada de la red eléctrica.
- **Uso de herramientas aisladas:** Todas las pruebas y conexiones se realizaron con herramientas certificadas para trabajos eléctricos.
- **Pruebas previas con corriente limitada:** El sistema fue evaluado inicialmente con una fuente regulada de bajo voltaje para prevenir cortocircuitos o daños accidentales.

#### c) Seguridad en la instalación

- **Fijación mecánica segura:** El *limit switch* fue instalado utilizando tornillos y soportes resistentes a la vibración y al calor generado por la operación de la máquina.
- **Revisión de interferencias:** Se verificó que el sensor no obstruyera ningún otro mecanismo ni representara un punto de falla para los operadores.
- **Pruebas en vacío:** Antes de reactivar la máquina con metal fundido, se realizaron pruebas sin carga para asegurar el funcionamiento correcto del sistema de detección.

Estas medidas no sólo garantizaron un entorno seguro de trabajo, sino que también validaron que la solución fuera sustentable y replicable en otras máquinas similares de la planta.

## CAPÍTULO 4: DESARROLLO TÉCNICO

Este capítulo describe a detalle la ejecución técnica del proyecto, abordando dos ejes fundamentales: la estandarización de procesos en maquinado CNC y la instalación de un sistema auxiliar de seguridad mediante sensor *limit switch* en el proceso de fundición por gravedad. Ambas acciones estuvieron orientadas a mejorar la eficiencia operativa y el control de calidad en FUNHEDI S.A. de C.V. A

través de la implementación de documentación técnica, guías interactivas, monitoreo con sensores y programación de sistemas automáticos, se logró una solución integral que aporta valor al área de producción.

## 4.1 Estandarización CNC

### 4.1.1 Proceso de documentación de habilitaciones

Uno de los pilares del proyecto fue la creación de hojas de habilitación para maquinaria CNC, con el fin de estandarizar los procedimientos de maquinado. Este proceso comenzó con la recopilación de datos técnicos de las piezas producidas regularmente en planta. Se identificaron los materiales utilizados, las dimensiones clave, las tolerancias críticas y las herramientas de corte requeridas.

Las hojas de habilitación incluyeron los siguientes apartados:

- Nombre de la pieza y número de parte
- Material base
- Tipo de máquina CNC utilizada
- Código del programa (G-code, ver anexo B)
- Velocidades y avances por herramienta
- Descripción de fijación y sujeción
- Observaciones del operador o técnico
- Plano de Detalle Completo: Incluye vistas ortogonales, cotas, tolerancias y acabados superficiales. (ver anexo C)

Estas hojas se elaboraron inicialmente en formato impreso, pero posteriormente se digitalizaron para facilitar su acceso y actualización (véase Anexo A). Esta acción no solo redujo errores humanos, sino que permitió establecer una base de datos técnica que puede ser consultada por operarios y personal de mantenimiento.

### 4.1.2 Diseño de guías interactivas

Como complemento a la documentación, se diseñaron **guías interactivas** en formato PDF con enlaces incrustados a imágenes, planos y videos cortos explicativos. Estas guías tienen como objetivo capacitar a nuevos operarios en el uso de la máquina CNC, mostrando de manera clara cómo montar la pieza, cuál es el orden de operaciones y qué cuidados deben tenerse durante el proceso.

A continuación, se muestra un extracto de una de las guías:

| Procedimiento                                  |                   |                                            |
|------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| DECALAGE:                                      |                   | Presión de plato: 13 a 15 kilos de presión |
| GSS                                            | X 0               |                                            |
|                                                | Z 69.500          | DATA                                       |
|                                                | C 0 "O" #hta 69.5 | X                                          |
| temperatura                                    |                   | 196.170                                    |
| Programa: 0Ø291 (502059 premaquinado)-         |                   | Z                                          |
| PROG- OPRD-0Ø291-BSCO-PROG                     |                   | 653.012                                    |
| Mordazas: dependiendo de la pieza              |                   | C 0.000                                    |
|                                                | Unilet normal     | DATA 2022-10-18                            |
| Unilet grande                                  |                   | DATA G54                                   |
| #1                                             | 1 valle fuera     | X 313.932                                  |
| 2 valles fuera                                 |                   | Z 636.367                                  |
| #2                                             | 4 valles fuera    | C 0.00                                     |
| 4 valles fuera                                 |                   |                                            |
| #3                                             | 4 valles fuera    | X 0.000                                    |
| 4 valles fuera                                 |                   | Z 69.500C 0.000                            |
| BLOQUEAR EJE : -MDI-M45-EOB-INSERT-CICLE START |                   |                                            |

Este material también sirvió para retroalimentar buenas prácticas y estandarizar rutinas que anteriormente variaban entre turnos.

## 4.2 Instalación del Limit Switch

### 4.2.1 Selección del sensor

Para la automatización del sistema de detección de fin de carrera en la máquina de fundición, se evaluaron diversas marcas y modelos de *limit switches* industriales. Se consideraron criterios como:

- Resistencia a altas temperaturas

- Tipo de montaje (en riel)
- Voltaje y tipo de señal (NA/NC)
- Costo y disponibilidad

#### 4.2.2 Proceso de instalación

La instalación se realizó en tres etapas:

1. **Montaje mecánico:** Se diseñó un soporte metálico usando SolidWorks (ver planos en Anexo D), que fue posteriormente maquinado y soldado a la base de la máquina.
2. **Ubicación térmica segura:** Mediante un termómetro IR se verificó que el punto de montaje no superara los 55 °C durante operación, asegurando la durabilidad del sensor.
3. **Conexión eléctrica:** Se utilizó cable mallado de alta temperatura y se integró el sensor como entrada digital al PLC existente.

Las fotografías paso a paso se encuentran en el **Anexo E**.

#### Evidencias incluidas

Las evidencias se encuentran organizadas en los anexos correspondientes:

- **Anexo A:** Fotografías de hojas de habilitación CNC
- **Anexo B:** Código del programa
- **Anexo C:** Capturas de planos mecánicos en SolidWorks
- **Anexo D:** Modelado en SolidWorks del ángulo estructural utilizado para fijar el riel guía a la máquina.
- **Anexo E:** Fotografías del proceso de instalación del sensor

#### CONCLUSION

El desarrollo de este proyecto permitió implementar mejoras significativas en los procesos industriales de la empresa FUNHEDI S.A. de C.V., integrando conocimientos técnicos adquiridos durante la formación académica en Ingeniería en Electrónica con necesidades reales del entorno productivo. A lo largo del trabajo, se logró cumplir con los objetivos planteados: estandarizar el proceso de maquinado CNC mediante hojas de habilitación y guías operativas, así como mejorar el sistema

de fundición por gravedad con la instalación de un limit switch que optimiza el control de posición en función de la temperatura.

La estandarización CNC no solo permitió una mejor organización y trazabilidad en la producción, sino que también facilitó el entrenamiento de nuevos operarios, reduciendo errores y tiempos de respuesta. El diseño de hojas de habilitación específicas para cada pieza, junto con el apoyo de guías interactivas y documentación clara, generó una mejora en la productividad y la calidad del proceso.

Por otra parte, la incorporación del limit switch en el sistema de fundición respondió a una problemática detectada en el control manual de la inclinación del molde. Gracias a la selección adecuada del sensor, su correcta instalación y la programación del PLC con lógica ladder, fue posible establecer un sistema de parada automática a cierta inclinación, reduciendo riesgos operativos y mejorando la repetibilidad del proceso. Asimismo, el uso de sensores IR para validar los puntos de temperatura confirmó que los parámetros térmicos del sistema ahora se encuentran dentro del rango óptimo.

Desde una perspectiva técnica y económica, estas mejoras representan un avance en la automatización y eficiencia de procesos tradicionales. Se redujo la dependencia del juicio del operador en tareas críticas, disminuyeron los riesgos laborales y se incrementó la confiabilidad del sistema productivo. Además, la documentación generada servirá como base para futuras actualizaciones y mantenimiento.

Este proyecto demuestra que la ingeniería electrónica puede tener un impacto directo y tangible en procesos de manufactura, incluso en sectores donde predominan sistemas mecánicos tradicionales. Integrar sensores, sistemas de monitoreo y automatización mediante PLC no solo moderniza las operaciones, sino que crea un puente entre el conocimiento académico y su aplicación real en la industria.

Finalmente, este trabajo representa una experiencia valiosa no solo por los resultados obtenidos, sino también por el proceso de aprendizaje continuo, la capacidad de adaptación al entorno y la colaboración con personal técnico y de planta. Deja como legado una solución concreta, replicable y documentada que puede ser ampliada a otras áreas de la empresa o incluso a diferentes industrias que compartan retos similares.

## REFERENCIAS

Bentley, J. P. (2005). *Principles of Measurement Systems* (4th ed.). Pearson Education.

- Campbell, J. (2015). *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2011). *Measurement Systems: Application and Design* (6th ed.). McGraw-Hill.
- García, A. (2020). *Procesos de manufactura con CNC*. Alfaomega Grupo Editor.
- Groover, M. P. (2016). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.). Pearson.
- Groover, M. P. (2016). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (6th ed.). Wiley.
- Haas Automation Inc. (s.f.). *Sigma 5 – Axis Servo Motor and Cables – Troubleshooting Guide*. Recuperado el 18 de mayo de 2025, de <https://www.haascnc.com/mx/service/troubleshooting-and-how-to/troubleshooting/sigma-5---axis-servo-motor-and-cables---troubleshooting-guide.html>
- HiTop Industrial. (s.f.). *Mecanizado CNC de 4 y 5 ejes*. HiTop Industrial. <https://hitopindustrial.com/es/mecanizado-cnc-de-4-y-5-ejes/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Estadísticas a propósito de la industria manufacturera*. <https://www.inegi.org.mx>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.
- Lipták, B. G. (2016). *Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization* (4th ed.). CRC Press.
- Mohan, N. (2018). *Industrial Electronics: Devices and Systems*. McGraw-Hill Education.
- Petruszella, F. D. (2010). *Programmable Logic Controllers* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sandvik Coromant. (s.f.). *Metal cutting knowledge*. Recuperado el 12 de mayo de 2025, de <https://www.sandvik.coromant.com>

## **ANEXOS**

- **Anexo A:** Fotografías de hojas de habilitación CNC



FUNHEBI, S.A. de C.V.

## Departamento de CNC

### Área de Fabricación de Moldes y Maquinado

#### Guía para proceso de Habilitaciones



|                                                                                                                                                                                                                |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|
| Nombre:                                                                                                                                                                                                        | Válvula | N.P:              | 36328                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Terminación: |         |
| Máquina:                                                                                                                                                                                                       | VF2     | Plano de Trabajo: | G58 y G59                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Nombre:      | Número: |
| <b>Herramientas</b>                                                                                                                                                                                            |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
| Herramienta                                                                                                                                                                                                    |         |                   | Posición                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |         |
| Broca #4 P.B. Largo                                                                                                                                                                                            |         |                   | T11                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Flat 1/4" P.B. Largo                                                                                                                                                                                           |         |                   | T12                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Broca 9/32 " 57 mm ↑                                                                                                                                                                                           |         |                   | T13                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Flat 12 mm 35 mm ↑                                                                                                                                                                                             |         |                   | T14                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Broca 3/4" 170 mm ↑                                                                                                                                                                                            |         |                   | T15                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Broca 25/32" 170 mm ↑                                                                                                                                                                                          |         |                   | T16                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| Roscador 11.6 sandwick                                                                                                                                                                                         |         |                   | T18                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |         |
| <b>Procedimiento</b>                                                                                                                                                                                           |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
| * Plano de trabajo: 120 mm ↑ del centro del dispositivo<br>* Chuck manual o neumático<br>* Offsets herramientas:<br>H(LOUG) D. GASTO<br>T12        -2.1<br>T14        3.2<br>T18        5.1                2.5 |         |                   | * Se coloca dispositivo c/avellan hacia arriba, se alinea con eje "A" y se hace cero<br>* Localización: A0 G59<br>"Y" al centro del dispositivo<br>"X" al lateral derecho<br>* Localizar: A 180 G58<br>Al centro de la pieza e la parte del redondo<br><br>Z = G58 = -296.702 (A180)<br>Z = G59 = -296.702 (A0) |              |         |
| <b>Medidas a cuidar</b>                                                                                                                                                                                        |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
|                                                                                                                                                                                                                |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
| <b>Notas adicionales</b>                                                                                                                                                                                       |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |
| * Localizar pieza x pieza e G58<br>* Rosca 8 vueltas c/gage<br>* 6 piezas x hora<br>* Revisar medidas con plano<br>* Revisar cada hora alineación del dispositivo con escuadra                                 |         |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |         |



Fecha de Emisión:

Revisión:

- **Anexo B:** Código del programa

N5 G54

N10 LIMS=1000

N15 T07

N20 G95 S1001 M03

N25 G00 X250.

    Z3.45 ;M08

N30 X24.938

N35 Z1.45

N40 X30.285

N45 G33 X29.138 Z-17. K2.208

N50 G00 X24.938

N55 Z1.45

N60 X30.485

N65 G33 X29.338 Z-17. K2.208

N70 G00 X24.938

N75 Z1.45

N80 X30.685

N85 G33 X29.538 Z-17. K2.208

N90 G00 X24.938

N95 Z1.45

N100 X30.885

N105 G33 X29.738 Z-17. K2.208

N110 G00 X24.938

N115 Z1.45

N120 X31.085

N125 G33 X29.938 Z-17. K2.208

N130 G00 X24.938

N135 Z1.45

N140 X31.285

N145 G33 X30.138 Z-17. K2.208

N150 G00 X24.938

N155 Z1.45

N160 X31.485

N165 G33 X30.338 Z-17. K2.208

N170 G00 X24.938

N175 Z1.45

N180 X31.685

N185 G33 X30.538 Z-17. K2.208

N190 G00 X24.938

N195 Z1.45

N200 X31.885

N205 G33 X30.738 Z-17. K2.208

N210 G00 X24.938

N215 Z1.45

N220 X32.085

N225 G33 X30.938 Z-17. K2.208

N230 G00 X24.938

N235 Z1.45

N240 X32.285

N245 G33 X31.138 Z-17. K2.208

N250 G00 X24.938

N255 Z1.45

N260 X32.485

N265 G33 X31.338 Z-17. K2.208

N270 G00 X24.938

N275 Z1.45

N280 X32.685

N285 G33 X31.538 Z-17. K2.208

N290 G00 X24.938

N295 Z1.45

N300 X32.885

N305 G33 X31.738 Z-17. K2.208

N310 G00 X24.938

N315 Z1.45

N320 X33.085

N325 G33 X31.938 Z-17. K2.208

N330 G00 X24.938

N335 Z1.45

N340 X33.285

N345 G33 X32.138 Z-17. K2.208

N350 G00 X24.938

N355 Z1.45

N360 X33.485

N365 G33 X32.338 Z-17. K2.208

N370 G00 X24.938

N375 Z1.45

N380 X33.685

N385 G33 X32.538 Z-17. K2.208

N390 G00 X24.938

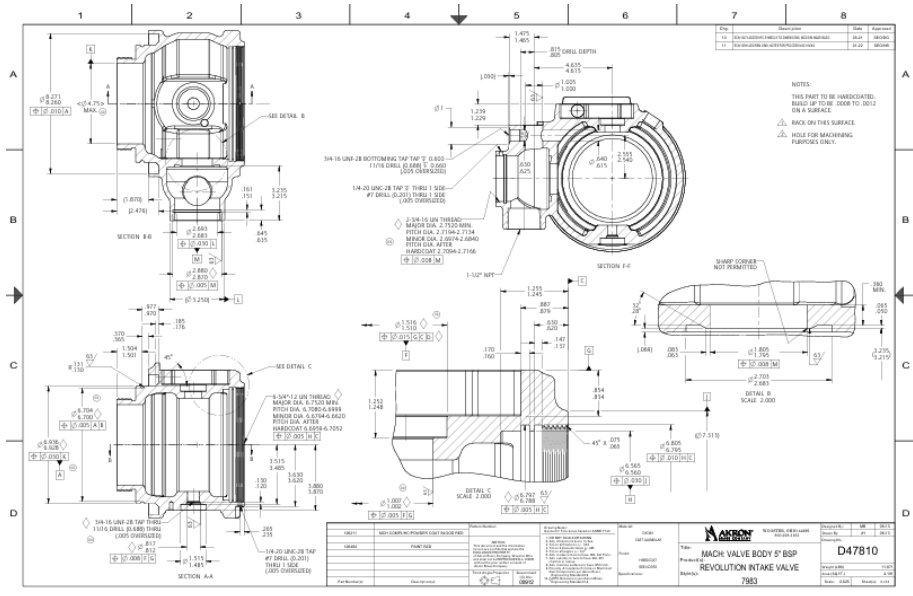
N395 Z1.45

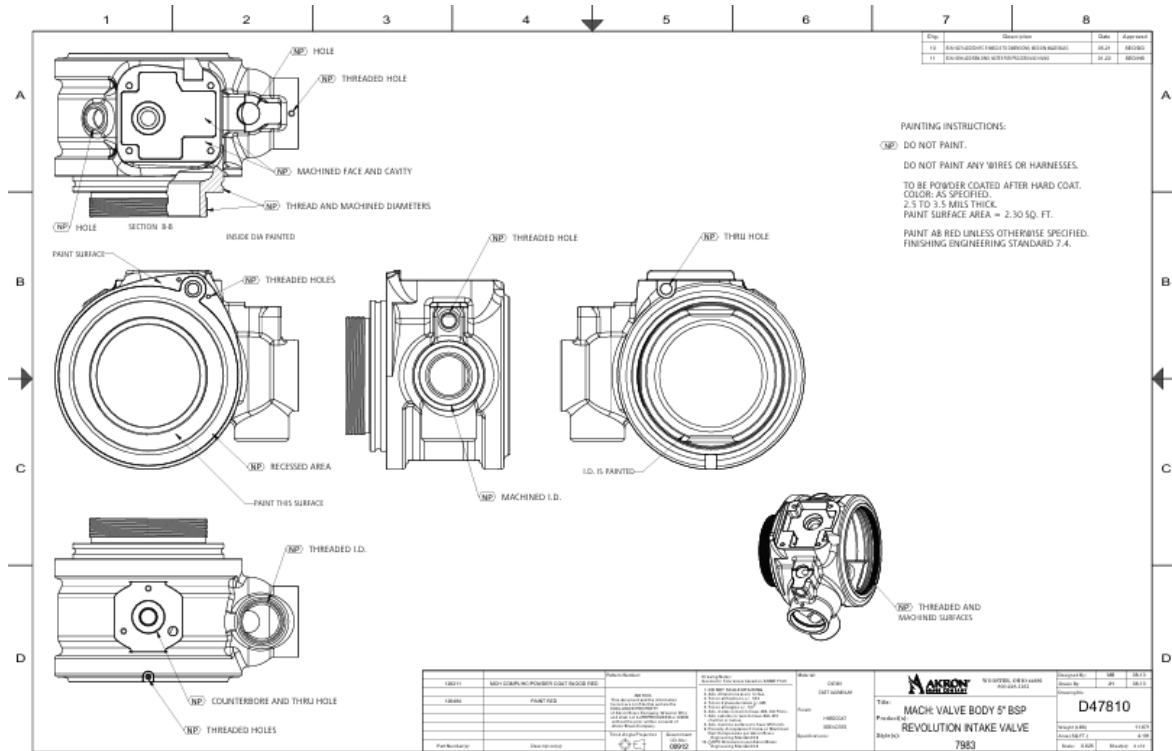
N400 X33.885

N405 G33 X32.738 Z-17. K2.208

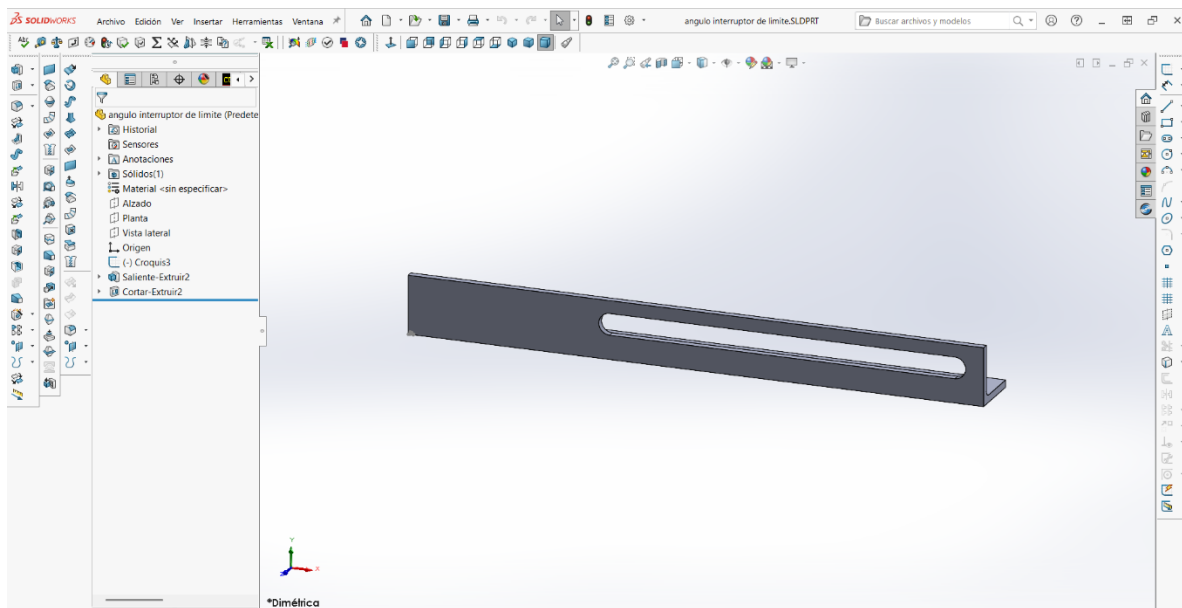
N410 G00 X24.938  
N415 Z1.45  
N420 X34.085  
N425 G33 X32.938 Z-17. K2.208  
N430 G00 X24.938  
N435 Z1.45  
N440 X34.285  
N445 G33 X33.138 Z-17. K2.208  
N450 G00 X24.938  
N455 Z1.45  
N460 X34.485  
N465 G33 X33.338 Z-17. K2.208  
N470 G00 X24.938  
N475 Z3.45  
N480 Z100.  
N485 X300.M09  
N495 M30

- **Anexo C:** Capturas de planos mecánicos.

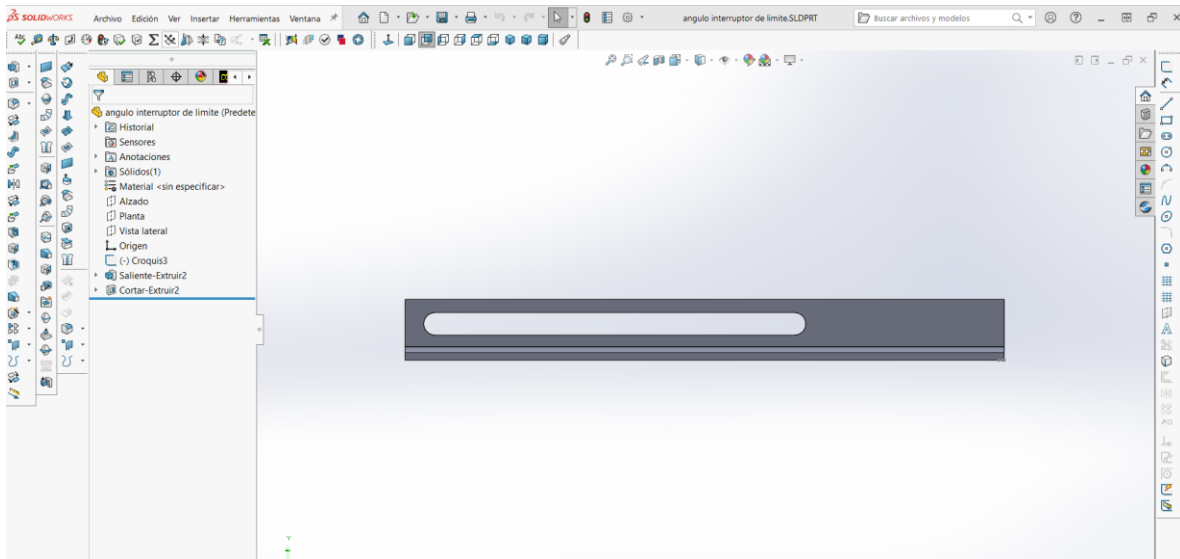




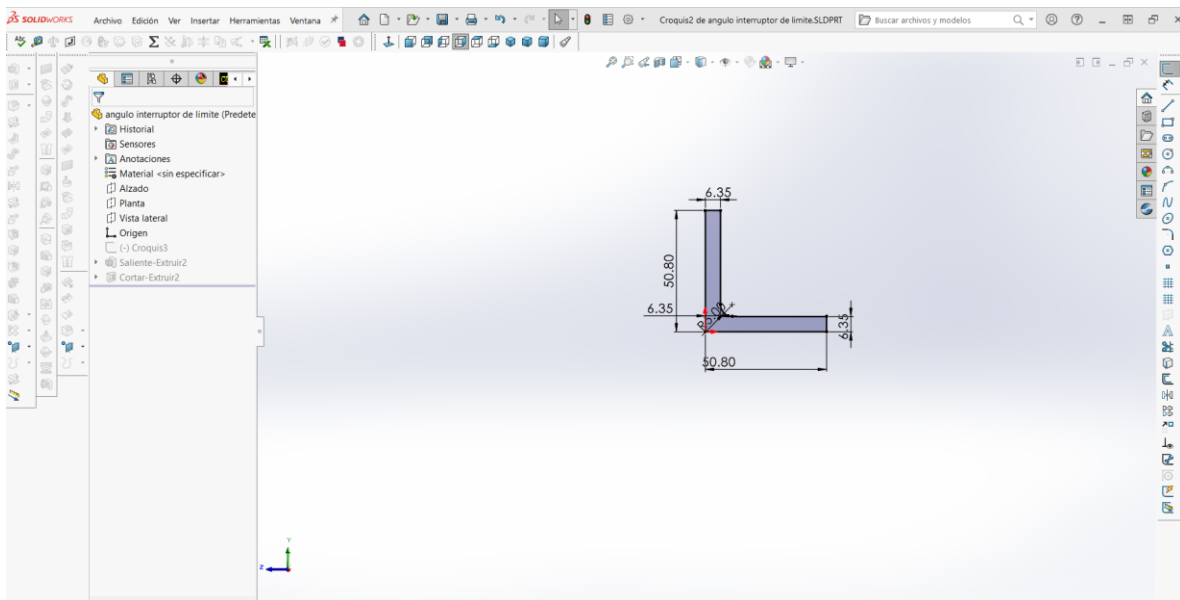
- **Anexo D:** Modelado en SolidWorks del ángulo estructural utilizado para fijar el riel guía a la máquina.



Vista superior.

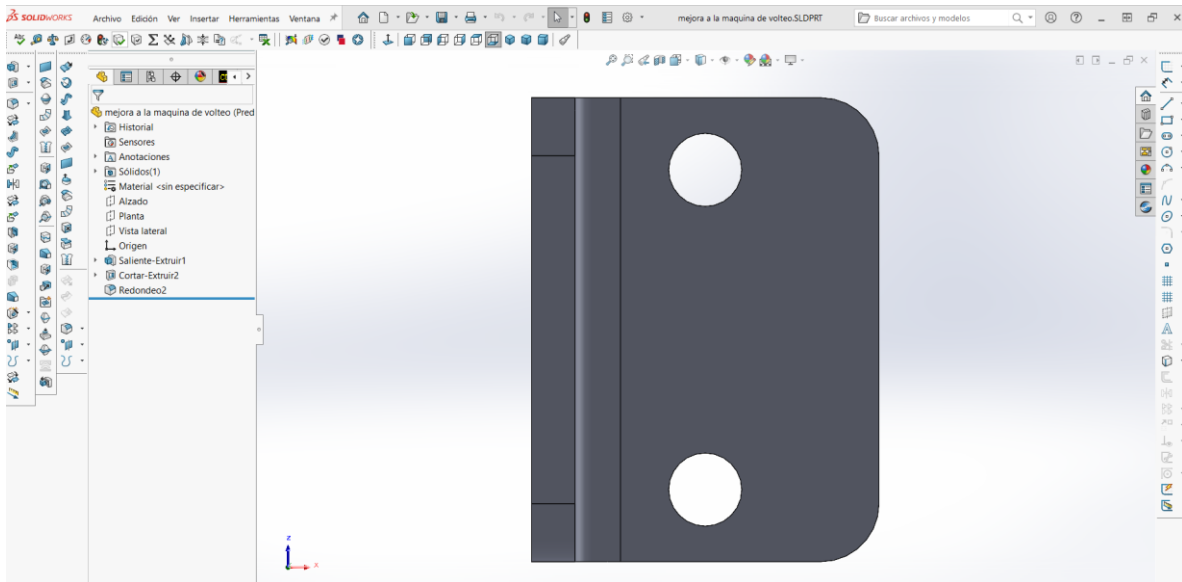


Vista posterior.

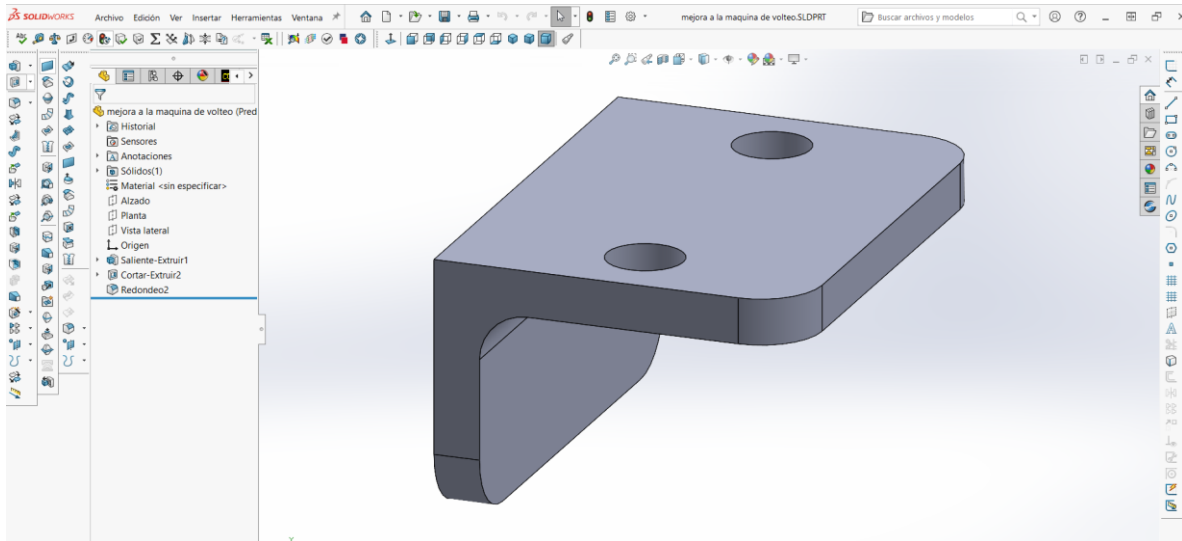


Plano de trabajo.

## Ángulo de sujeción



Vista inferior.



Vista superior.

- **Anexo E:** Fotografías del proceso de instalación del sensor



Máquina porta moldes.



Instalación de limit swict en el ángulo.



Sensor  
instalado y  
funcionando