



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MEDIR FUERZAS
ORTOGONALES EN EL TORNEADO DE ACEROS DE MEDIA ALEACIÓN
UTILIZANDO GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: SAID ALEXANDER CÁCERES ALVEAR

HUGO ERNESTO RAMOS ZAMBRANO

TUTOR: EDUARDO XAVIER VACA MICHILENA

Quito-Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Said Alexander Cáceres Alvear con documento de identificación N° 1723062723 y Hugo Ernesto Ramos Zambrano con documento de identificación N° 1312831645; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 27 de febrero del año 2024

Atentamente,



Said Alexander Cáceres Alvear

1723062723



Hugo Ernesto Ramos Zambrano

1312831645

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Said Alexander Cáceres Alvear con documento de identificación N° 1723062723 y Hugo Ernesto Ramos Zambrano con documento de identificación N° 1312831645, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo tecnológico: “Diseño y construcción de un dispositivo para medir fuerzas ortogonales en el torneado de aceros de media aleación utilizando galgas extensiométricas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de febrero del año 2024

Atentamente,



Said Alexander Cáceres Alvear

1723062723



Hugo Ernesto Ramos Zambrano

1312831645

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Xavier Vaca Michilena con documento de identificación N° 1721078424, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MEDIR FUERZAS ORTOGONALES EN EL TORNEADO DE ACEROS DE MEDIA ALEACIÓN UTILIZANDO GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS , realizado Said Alexander Cáceres Alvear con documento de identificación N° 1723062723 y Hugo Ernesto Ramos Zambrano con documento de identificación N° 1312831645, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena MsC.

1721078424

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero expresar el más profundo agradecimiento, a todas aquellas personas que hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y fueron fuente de inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención tan especial se la dedico primero a Dios, por guiarme y bendecirme estos años con salud y sabiduría, a mis abuelos paternos Hugo Matías y María Bernardita, mis abuelos maternos Rafael Eugenio y por María Victoria ser mi ejemplo en vida, mis padres Borys Ramos y Gisela Zambrano, por ser mi ejemplo de constancia y esfuerzo, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional en este arduo camino. A mis hermanas Irina y Gisela que me han brindado su apoyo en los momentos más difíciles de mi formación y al resto de familia por su estar siempre pendiente.

Mi gratitud también a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en sus instalaciones y ser parte de su proceso de enseñanza profesional y humana.

A mis docentes que formaron parte fundamental de este proceso de formación, en especial a mi tutor de proyecto de titulación, Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena M.Sc. por su ayuda, paciencia y ser una guía valiosa para culminar con éxitos este proyecto.

A mis compañeros de clase que eventualmente se convirtieron en mis amigos y fuente de apoyo en mi vida cotidiana y dentro de la carrera.

Gracias infinitas a todas las personas que me apoyaron y siempre estarán presentes en mí corazón.

Hugo Ernesto Ramos Zambrano

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero expresar el más profundo agradecimiento, a todas aquellas personas que hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y fueron fuente de inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención tan especial se la dedico primero a Dios, por guiarme y bendecirme estos años con salud y sabiduría, a mi amada madre Rosa Feliza Alvear Arias, a mi querida abuela Elena Margarita Arias Urbina y mi tía Angélica María Alvear Arias por ser mi ejemplo de constancia y esfuerzo, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional en este arduo camino.

Mi gratitud también a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en sus instalaciones y ser parte de su proceso de enseñanza profesional y humana.

A mis docentes que formaron parte fundamental de este proceso de formación, en especial a mi tutor de proyecto de titulación, Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena M.Sc. Por su ayuda, paciencia y ser una guía valiosa para culminar con éxitos este proyecto.

A mis compañeros de clase que eventualmente se convirtieron en mis amigos y fuente de apoyo en mi vida cotidiana y dentro de la carrera.

Gracias infinitas a todas las personas que me apoyaron y siempre estarán presentes en mí corazón.

Said Alexander Cáceres Alvear

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| Problema de Estudio | 3 |
| JUSTIFICACIÓN | 4 |
| GRUPO OBJETIVO | 5 |
| OBJETIVOS | 5 |
| Objetivo General | 5 |
| Objetivos Específicos | 5 |
| CAPÍTULO 1 | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 1.1 Galgas extensiométricas..... | 6 |
| 1.1.1 Principio de funcionamiento | 6 |
| 1.1.2 Características | 8 |
| 1.1.3 Aplicación de Galgas en una balanza | 8 |
| 1.1.4 Resistencia de las Galgas extensiométricas | 8 |
| 1.1.5 Histéresis de las Galgas extensiométricas..... | 9 |
| 1.1.6 Material de elemento sensible de las Galgas extensiométricas | 10 |
| 1.1.7 Material de la matriz portadora..... | 11 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.1.8 Fluencia de las Galgas extensiométricas..... | 11 |
| 1.1.9 Deformación máxima de las Galgas extensiométricas | 12 |
| 1.1.10 Comportamiento a la fatiga de las Galgas extensiométricas | 12 |
| 1.1.11 Sensibilidad transversal de las Galgas extensiométricas | 12 |
| 1.1.12 Estabilidad de las Galgas extensiométricas | 13 |
| 1.1.13 Influencia de la temperatura en las Galgas extensiométricas | 13 |
| 1.1.14 Disipación de calor de las Galgas extensiométricas | 13 |
| 1.1.15 Influencia de los campos magnéticos en las Galgas extensiométricas | 13 |
| 1.2 Tipos de Galgas extensiométricas..... | 15 |
| 1.2.1 Galgas extensiométricas Uniaxial..... | 15 |
| 1.2.2 Galgas extensiométricas Biaxial | 15 |
| 1.2.3 Galgas extensiométricas de Tipo Roseta | 16 |
| 1.3 Celdas de carga | 16 |
| 1.4 Puente de Wheatstone | 17 |
| 1.5 Acondicionamiento de la señal | 22 |
| 1.6 Módulos amplificadores de Instrumentación..... | 23 |
| 1.7 Torno EMCOMAT E-200 MC | 23 |
| 1.8 Mecanizado en torno..... | 24 |
| 1.8.1 Fuerza de corte..... | 25 |
| 1.8.2 Fuerza de avance..... | 26 |
| 1.9 Dinamómetro usado para medición de fuerzas | 26 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.10 Porta inserto para la barra de Aluminio 7075T6..... | 28 |
| 1.10.1 Tendencia en tecnología de medición de fuerza | 28 |
| 1.10.2 Insertos para mecanizado | 29 |
| 1.11 Adquisición de datos con microprocesador | 30 |
| 1.12 Materiales de trabajo para elementos del prototipo..... | 30 |
| 1.12.1 Acero 1045 en la fabricación del portaherramientas. | 30 |
| 1.12.2 Aluminio 7075T6 para portainsero..... | 31 |
| Formulación | 32 |
| 1.13.1 Profundidad de corte | 32 |
| 1.13.2 Tiempo de mecanizado | 33 |
| 1.13.3 Velocidad de corte | 33 |
| 1.13.4 Velocidad de avance | 34 |
| 1.14.1 Fuerza de corte..... | 34 |
| 1.14.2 Fuerza tangencial | 35 |
| 1.14.3 Fuerza..... | 35 |
| 1.14.4 Momento | 36 |
| 1.14.5 Esfuerzos..... | 36 |
| 1.14.6 Esfuerzo a Flexión | 37 |
| 1.14.7 Elongación | 37 |
| 1.14.8 Punto de Inercia | 38 |
| CAPÍTULO 2..... | 39 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| DISEÑO DEL DISPOSITIVO PIEZO RESISTIVO | 39 |
| 2.1 Diseño mecánico del prototipo | 39 |
| 2.2. Diseño de la Placa Portaherramientas | 40 |
| 2.2.1 Especificaciones técnicas de la Placa Portaherramientas | 41 |
| 2.3 Cálculos del Portainsero | 42 |
| 2.3.1 Cálculo de cargas soportadas | 42 |
| 2.3.2 Velocidad de avance para Portainsero con Acero 1045 | 46 |
| 2.3.3 Cálculo de velocidad de corte Portainsero Acero 1045 | 47 |
| 2.3.4 Cálculo de profundidad de corte Portainsero Acero 1045 | 47 |
| SIMULACIÓN | 48 |
| 2.4 Simulación estática de la estructura | 48 |
| ANÁLISIS DE MANUFACTURA | 54 |
| 2.5 Diseño de la Placa | 54 |
| 2.5.1 Especificaciones técnicas de la Placa | 54 |
| 2.5.2 Velocidad de avance para Placa Acero 1045 | 55 |
| 2.5.3 Cálculo de velocidad de corte Placa Acero 1045..... | 55 |
| 2.5.4 Cálculo de profundidad de corte Placa Acero 1045..... | 56 |
| 2.6 Diseño de la barra de portainsero de Aluminio 7075T6..... | 56 |
| 2.6.1 Especificaciones técnicas de la barra de inserto de Aluminio 7075T6..... | 57 |
| 2.6.2 Velocidad de avance para Aluminio 7075T6..... | 57 |
| 2.6.3 Cálculo de velocidad de corte Aluminio 7075T6 | 58 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.4 Cálculo de profundidad de corte Aluminio 7075T6 | 58 |
| 2.7 Selección Pernos <i>M8</i> | 59 |
| 2.7.1 Especificaciones técnicas del Perno <i>M8</i> | 60 |
| 2.8 Selección Inserto | 60 |
| 2.8.1 Especificaciones técnicas del Inserto | 60 |
| 2.9 Diseño del dispositivo..... | 62 |
| 2.10 Preparación del material | 62 |
| 2.11 Pegado de las Galgas extensiométricas..... | 63 |
| 2.12 Soldado de terminales de Galgas extensiométricas | 63 |
| 2.13 Protecciones de las Galgas extensiométricas | 64 |
| 2.14 Preparación del material | 65 |
| SISTEMA ELÉCTRICO | 65 |
| 2.15.1 Arduino UNO R3 | 65 |
| 2.15.2 Amplificador de Módulo HX711 | 67 |
| 2.15.3 Conexión de galgas extensiométricas | 68 |
| 2.15.4 Módulo Amplificador HX711 | 69 |
| 2.15.5 Galga extensiométricas uniaxial | 70 |
| 2.15.6 Selección de la Galga Por Utilizar | 70 |
| 2.15.7 Puente de Wheatstone | 71 |
| 2.15.8 Fuente de energía | 73 |
| 2.16 Microsoft Excel..... | 74 |

| | |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| 2.16.1 Microsoft Data Streamer..... | 74 |
| CAPÍTULO 3..... | 75 |
| IMPLEMENTACIÓN | 75 |
| 3.1 Implementación Mecánica..... | 75 |
| 3.2 Implementación Eléctrica | 76 |
| 3.3 Implementación Control de Datos | 77 |
| 3.4 Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento | 82 |
| CAPÍTULO 4..... | 83 |
| PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 83 |
| 4.1 Prueba 1 | 83 |
| 4.2 Prueba 2 | 83 |
| 4.3 Prueba 3 | 84 |
| 4.4 Error Porcentual..... | 84 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 85 |
| Conclusiones | 85 |
| Recomendaciones | 86 |
| REFERENCIAS..... | 87 |
| Anexos | 92 |
| RESULTADOS DE PRUEBAS | 93 |
| CÓDIGO DE ARDUINO | 95 |
| FILTRO DE KALMAN | 100 |

| | |
|-------------------------|---|
| PLANOS | 1 |
| EVIDENCIAS | 1 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Galga extensiométrica [8]..... | 6 |
| Figura 2. Relación esfuerzo deformación [9]..... | 7 |
| Figura 3. Galgas extensiométricas en una Galga [9]..... | 8 |
| Figura 4. Resistencia de las Galgas extensiométricas[10] | 9 |
| Figura 5. Histéresis de las Galgas extensiométricas. $\Delta R/R$ es el cambio relativo de resistencia en la galga extensiométrica [12]..... | 10 |
| Figura 6. Ruido electrostático [1]..... | 14 |
| Figura 7. Diagrama ruido magnético [1]..... | 14 |
| Figura 8. Galga extensiométrica uniaxial[10] | 15 |
| Figura 9. Galga extensiométrica Biaxial[10] | 15 |
| Figura 10. Celda de carga [1]..... | 17 |
| Figura 11. Puente de Wheatstone [17]. | 17 |
| Figura 12. Configuración puente de Wheatstone[10] | 18 |
| Figura 13. Configuraciones de puente de Wheatstone[9] | 19 |
| Figura 14. a) Cuarto de puente; b) Medio puente; c) Puente completo[10]..... | 19 |
| Figura 15. Conexión de dos o tres cables[10] | 20 |
| Figura 16. Configuración medio puente[10]..... | 20 |
| Figura 17. Configuración para compensar la temperatura[10] | 20 |
| Figura 18. Medidores de compensación[9] | 21 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19. Configuración Puente Completo[10]..... | 21 |
| Figura 20. Tipos y formas de ser utilizado[10]..... | 22 |
| Figura 21. Módulos amplificadores [19]..... | 23 |
| Figura 22. Torno EMCOMAT E-200 MC[21] | 24 |
| Figura 23. Movimientos en el Torno [3]..... | 25 |
| Figura 24. Fuerzas que actúan en el proceso de torneado[22] | 25 |
| Figura 25. Fuerzas que actúan en el proceso de torneado [23] | 26 |
| Figura 26. Dinamómetro para medición de fuerzas [23] | 26 |
| Figura 27. Dinamómetro para medición de fuerzas [23] | 27 |
| Figura 28. Dinamómetro para medición de fuerzas implementado [23] | 27 |
| Figura 29. Porta inserto para la barra de Aluminio 7075T6 | 28 |
| Figura 30. Proceso de ensayo[22] | 28 |
| Figura 31. Tendencia en medición de fuerzas [25] | 29 |
| Figura 32. Dimensiones inserto [26]..... | 29 |
| Figura 33. Ejemplos de insertos de corte[27]..... | 30 |
| Figura 34. Elementos que componen el sistema mecánico..... | 39 |
| Figura 35. Portaherramientas del dispositivo piezo resistivo..... | 40 |
| Figura 36. Fuerza de corte vista superior. | 42 |
| Figura 37. Fuerza tangencial de corte. | 44 |
| Figura 38. Parámetros de mallado en la estructura | 48 |
| Figura 39. Mallado sólido en el prototipo..... | 48 |
| Figura 40. Propiedades de los materiales | 49 |
| Figura 41. Corriente de aspecto del prototipo | 49 |
| Figura 42. Simulación de tensión Von Mises en la estructura..... | 50 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 43. Deformación unitaria equivalente en la estructura | 50 |
| Figura 44. Deformación en el primer eje | 51 |
| Figura 45. Deformación unitaria normal..... | 51 |
| Figura 46. Primera tensión principal | 52 |
| Figura 47. Segunda tensión principal..... | 52 |
| Figura 48. Desplazamiento en la estructura | 53 |
| Figura 49. Factor de seguridad..... | 53 |
| Figura 50. Placa de sujeción en Acero 1045. | 54 |
| Figura 51. Barra en Aluminio 7075 T6..... | 57 |
| Figura 52. Pernos <i>M8</i> colocados..... | 59 |
| Figura 53. Portainserto del prototipo | 60 |
| Figura 54. Especificaciones técnicas del inserto[34] | 61 |
| Figura 55. Características del inserto[34] | 61 |
| Figura 56. Barniz de recubrimiento[10]..... | 64 |
| Figura 57. Material antes y después de la preparación | 65 |
| Figura 58. Arduino UNO R3[35]..... | 67 |
| Figura 59. Módulo amplificador HX711 [36]..... | 68 |
| Figura 60. Conexiones galgas extensiométricas | 69 |
| Figura 61. Módulo HXT 711 | 69 |
| Figura 62. Galga extensiométrica uniaxial[8]..... | 70 |
| Figura 63. Diseño de circuito en Proteus | 71 |
| Figura 64. Diseño de PCB en Proteus | 72 |
| Figura 65. Vista isométrica PCB..... | 72 |
| Figura 66. Vista inferior PCB | 73 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 67. Alimentación al Arduino por medio de un Computador [38]..... | 73 |
| Figura 68. Interfaz Excel.[40] | 74 |
| Figura 69. Activación de complemento Microsoft Data Streamer[40]..... | 77 |
| Figura 70. Conexión de dispositivo COM a Microsoft Data Streamer[40] | 78 |
| Figura 71. Adquisición de datos en Puerto COM 5[40]..... | 78 |
| Figura 72. Botón para iniciar la adquisición de datos en Puerto COM 5[40]..... | 79 |
| Figura 73. Adquisición de datos en Puerto COM 5[40]..... | 79 |
| Figura 74. Botón para detener adquisición de datos[40]..... | 80 |
| Figura 75. Configuración del libro de Excel[40] | 80 |
| Figura 76. Configuración avanzada de Microsoft Data Streamer[40] | 81 |
| Figura 77. Gráficos en tiempo real de la adquisición de datos[40]..... | 81 |
| Figura 78. Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento | 82 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Características de los elementos sensibles de las Galgas extensiométricas [10] | 10 |
| Tabla 2. Material de la matriz portadora[10] | 11 |
| Tabla 3. Propiedades químicas Acero bajo en carbono 1045 [28]..... | 31 |
| Tabla 4. Propiedades mecánicas Acero bajo en carbono 1045 [28]..... | 31 |
| Tabla 5. Propiedades químicas Aluminio 7075T6 [30] | 31 |
| Tabla 6. Propiedades mecánicas Aluminio 7075T6[30] | 32 |
| Tabla 7. Características Acero 1045[31] | 35 |
| Tabla 8. Componentes del diseño mecánico del prototipo..... | 40 |
| Tabla 9. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserito | 41 |
| Tabla 10. Parámetros de corte Acero 1045 para el Torno[33] | 41 |
| Tabla 11. Parámetros de corte Acero 1045 para la Fresadora[33] | 41 |
| Tabla 12. Resultados teóricos con profundidad 1.5 mm y avance de 0.15 mm | 46 |
| Tabla 13. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserito | 54 |
| Tabla 14. Parámetros de corte Torno en Acero 1045 Para construcción del portaherramientas.[33] | 56 |
| Tabla 15. Parámetros de corte Fresado en Acero 1045 Para la Construcción de soporte.[33] | 56 |
| Tabla 16. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserito | 57 |
| Tabla 17. Parámetros de corte Acero 1045 en el torno.[33]..... | 59 |
| Tabla 18. Parámetros de corte Acero 1045 en la fresadora.[33] | 59 |
| Tabla 19. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserito | 60 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 20. Dimensiones del inserto 11T304-HMP[34] | 61 |
| Tabla 21. Condición de corte Inserto 11T304-HMP[34] | 61 |
| Tabla 22. Elementos del Arduino Uno R3 | 62 |
| Tabla 23. Características del Arduino R3[1]..... | 66 |
| Tabla 24. Características del Módulo HX711[36] | 68 |
| Tabla 25. Conexión HX711 y Arduino[19]..... | 69 |
| Tabla 26. Conexión Celda de carga y HX711[19] | 70 |
| Tabla 27. Especificación del tipo de galga extensiométrica a utilizar[37]..... | 71 |
| Tabla 28. Resultados obtenidos de prueba 1 | 83 |
| Tabla 29. Resultados obtenidos de prueba 2 | 83 |
| Tabla 30. Resultados obtenidos de prueba 3 | 84 |

RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolló el diseño y construcción de un dispositivo para medir fuerzas ortogonales en el torneado de aceros de media aleación utilizando galgas extensiométricas, destinado al campo técnico de la manufactura. Es un sistema conformado por una parte mecánica y electrónica para obtener las fuerzas ortogonales del mecanizado del acero 1045. Para la parte mecánica se realizó el diseño de un soporte de acero. Para la parte electrónica y de control se utilizan componentes y materiales tanto mecánicos como eléctricos que son de fácil acceso en el mercado ecuatoriano, como el inserto para el desbaste del material, las galgas extensiométricas uniaxiales para la obtención de la compresión. Para la parte de control se implementa un código mediante el Arduino donde las lecturas obtenidas son transformadas de señales analógicas a señales digitales, mediante el uso de componentes como, puente de Wheatstone, un convertidor DC/DC, un módulo HX711 y un convertidor AM120, se realizó también la comparación entre los valores teóricos y valores reales obtenidos, consiguiendo así un porcentaje bajo de error en las mediciones, volviendo al dispositivo piezo resistivo efectivo en la medición de fuerzas ortogonales en el torno CNC.

Palabras Clave: Control, Fuerzas, Galgas, Ortogonales, Torno.

ABSTRACT

The project designed and built a strain gauge-based device to measure orthogonal forces during the turning of medium alloy steels with the objective of being used in the technical manufacturing sector. The components work together as a system to obtain orthogonal forces during the milling process of 1045 steel. A steel support was designed for the mechanical component. For the electronic and control part, the ones available in the Ecuadorian market are used, such as the insert to scrape material and the uniaxial strain gauges to determine the compression. For the control part, a code is implemented through the Arduino where the readings obtained are transformed from analog signals to digital signals, by using components such as Wheatstone bridge, a DC/DC converter, a HX711 module and an AM120 converter, the comparison between the theoretical values and real values obtained was also performed, thus achieving a low percentage of error in the measurements, making the piezo resistive device effective in the measurement of orthogonal forces in the CNC lathe.

Keywords: Control, Forces, Gages, Orthogonal, Orthogonal, Lathe.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problema de Estudio

Las fuerzas de corte de torno que se calculan analíticamente tienen un bajo porcentaje de fiabilidad en los resultados, es crucial comprender la relación proporcional entre los parámetros y la fuerza producida para calcular el consumo de potencia. Los parámetros de corte que varían la fuerza de corte durante el proceso de torneado son la profundidad, la velocidad y el avance.

Según Becerra H [1], menciona que el costo de los dinamómetros comerciales y su calibración es muy elevado, llegando hasta los 10.000 dólares. En consecuencia, no resulta económicamente ventajoso adquirir estos equipos para su uso en entornos académicos, como mostrar a los estudiantes la conexión entre el acabado de una pieza y la cantidad de energía utilizada durante el proceso de torneado en aceros de mediana aleación.

García F. [2] menciona que la industria se desarrolla con el tiempo y aumentan los conocimientos sobre el proceso de corte de metales, éste se vuelve más complejo por diversas razones, como la modificación de las propiedades de los materiales como consecuencia del corte o la aplicación de tensiones y deformaciones durante cortos periodos de tiempo. En ese sentido y como menciona Nieto C. [3], La eficacia se traduce en menores costes y plazos de entrega más cortos para cualquier mejora realizada en el proceso de mecanizado, ya se trate del diseño de herramientas, la técnica de mecanizado o la creación de nuevas tecnologías para el torno Emcomat E-200.

JUSTIFICACIÓN

Rivas J [4] menciona que, para aumentar el porcentaje de fiabilidad del producto, son esenciales el control y la capacidad de observación del proceso de mecanizado. En esta situación, los fenómenos resultantes de los parámetros de corte y avance interactúan con el material, por lo que se emplean métodos para medir las variables. Obtenga un análisis más preciso de la fuerza de corte.

Como propuesta, se utilizarán galgas extensométricas en lugar de sensores o calibradores mecánicos de desplazamiento, que a veces se emplean en los diseños de dinamómetros, pero no siempre producen resultados satisfactorios, las cuales menciona Salinas P. [5] que, combinados con microprocesadores y microcontroladores, son más baratos en el mercado, hacen que esta medición sea mucho más fácil y asequible.

Será factible demostrar a los estudiantes, con fines académicos, cómo la comprensión de estas mejoras de los parámetros en toda la industria amplía de las horas de trabajo, y como menciona Rengifo I. [6], los resultados se obtienen en términos de cantidad y calidad de las piezas producidas, lo que beneficia a la empresa porque el mecanizado está estrechamente asociado a la fabricación de productos a gran escala.

GRUPO OBJETIVO

El presente trabajo está enfocado al uso y práctica en la industria metalmecánica y en el área académica en distintas pruebas

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y construir un dispositivo para medición de fuerzas ortogonales en el torneado de aceros de media aleación utilizando galgas extensiométricas

Objetivos Específicos

- Definir el funcionamiento de las galgas extensiométricas para la aplicación y calibración del dispositivo acoplado en el torno CNC Emcomat E-200.
- Diseñar el dispositivo con interfaz de comunicación al computador que permita medir fuerzas y corte para el proceso de torneado en aceros de media aleación y la implementación en la herramienta de corte.
- Implementar el equipo para registrar los datos de fuerzas de corte en ensayos de mecanizado variando los parámetros recomendados por el fabricante de herramienta de carburo.
- Comparar los resultados de fuerzas de corte obtenido de manera experimental con resultados teóricos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Galgas extensiométricas

Como menciona en su catálogo HBM [7] los sensores de resistencia eléctrica son sensores que miden el cambio de resistencia en respuesta a una fuerza aplicada; traducen la fuerza, la presión, el estrés, la tensión, el peso y otros factores en cambios medibles de la resistencia eléctrica.

El término técnico para la deformación por tracción y compresión tiene un signo positivo o negativo y se utiliza para medir la expansión y la contracción, esta herramienta es crucial para la técnica aplicada de medición eléctrica de magnitudes mecánicas. Las celdas se presentan en diversas configuraciones, una de las cuales es vertical como en la **Figura 1**.

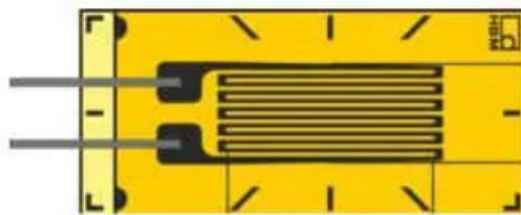


Figura 1. Galga extensiométrica [8]

1.1.1 Principio de funcionamiento

De acuerdo con Álzate, Montes y Silva [9], el principio de funcionamiento fundamental se basa en las propiedades piezo resistivos de los metales semiconductores, que cambian su resistividad en respuesta a la tensión, la composición del material y el diseño de la construcción. lo tratamos como un hilo metálico, obtenemos la ecuación 1, en la cual, la longitud es l , su sección transversal es A y su resistividad p , su resistencia eléctrica será:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (1)$$

Si se somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, todas estas variables cambian, por lo que R varía, se muestra la Ecuación 2:

$$dR = \frac{A(\rho dl + l d\rho) - \rho l dA}{A^2} \quad (2)$$

El cambio de longitud que resulta de aplicar una fuerza siempre y cuando no se supere su límite elástico, está dado por la ley de Hooke en la Ecuación 3.

$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon = E \frac{dl}{l} \quad (3)$$

En dónde, E es el módulo de elasticidad del material, denominado módulo de Young, σ es el esfuerzo uniaxial y ε es la deformación unitaria. Un ejemplo del comportamiento se muestra en la **Figura 2**.

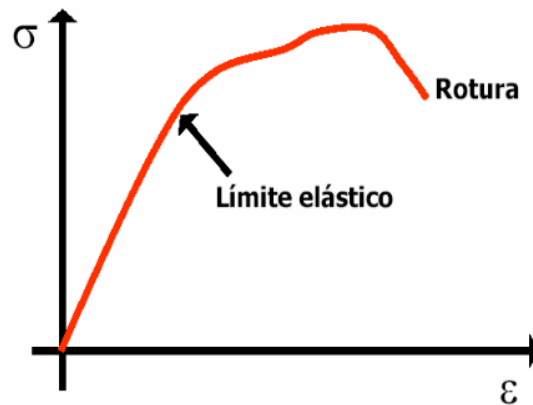


Figura 2. Relación esfuerzo deformación [9].

1.1.2 Características

Según Alzate, Montes y Silva [9], creado durante el proceso de fotograbado de una película que ha sido previamente montada sobre una base de plástico de resina flexible en la construcción típica de una galga extensométrica. Para que la isostática de la estructura atraviese la parte activa de la banda, las galgas deben fijarse a la superficie donde se realizarán las pruebas. Una explicación posterior de un procedimiento previo de limpieza de la superficie.

1.1.3 Aplicación de Galgas en una balanza

De acuerdo con Alzate, Montes y Silva [9], la deformación producida sobre la viga en la **Figura 3**, produce una tensión que es proporcionalmente lineal al desplazamiento alcanzado por el circuito de medio puente en el circuito de acondicionamiento. Debido a su tensión de deformación opuesta, las galgas 1 y 4 se añaden a las salidas de tensión y a las salidas de voltaje.

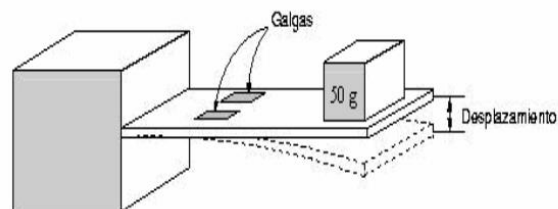


Figura 3. Galgas extensométricas en una Galga [9]

1.1.4 Resistencia de las Galgas extensométricas

La construcción típica de un medidor de deformación metálico **Figura 4**, muestra un patrón de lámina metálica creado mediante fotograbado de una película que se ha colocado sobre una base de plástico flexible hecha de resina.[9]

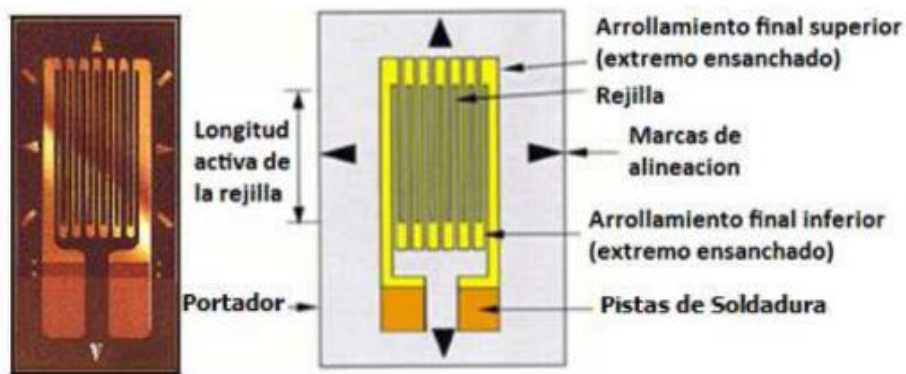


Figura 4. Resistencia de las Galgas extensiométricas[10]

De acuerdo con Bentley J. [11] Los tipos de galgas extensométricas metálicas suelen oscilar entre 120 y 1000 ohmios. Con tolerancias que oscilan entre el 0.15-0.8% de error. Temperatura máxima de trabajo de 150°C, una deformación media por tracción del 2% y una deformación por compresión del -1%. La resistencia cambia de -2,4 a 4,8 ohmios en la deformación media. Para evitar el sobrecalentamiento, la corriente máxima a la que se calibra oscila entre 15 mA y 100 mA.

1.1.5 Histéresis de las Galgas extensiométricas

Según Sving A [12], el extensómetro se somete a ciclos de carga, ya sea de tracción o de compresión, y no vuelve a su valor de resistencia inicial cuando se descarga. En cambio, puede estar en tracción cuando supera el valor nominal o en compresión cuando está por debajo del valor nominal, dependiendo de la prueba. Histéresis es el término utilizado para describir la variación en las mediciones en reposo tomadas después de mediciones en tracción o compresión, siendo la carga absoluta aplicada. En la **Figura 5**, se observa este fenómeno gráficamente:

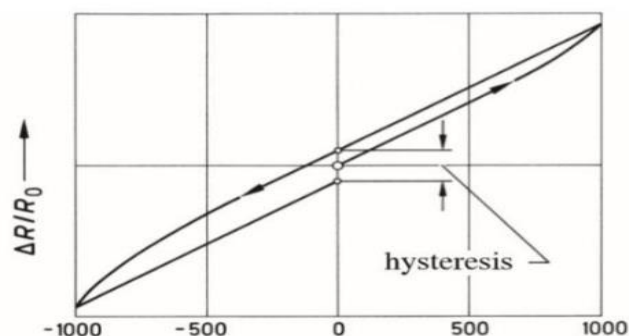


Figura 5. Histéresis de las Galgas extensiométricas. $\Delta R/R$ es el cambio relativo de resistencia en la galga extensiométrica [12].

El fenómeno, denominado histéresis, está causado por una serie de variables adicionales, entre las que se incluyen el adhesivo, el objeto al que está unido y el elemento conductor. Numerosas pruebas han demostrado que someter la pieza a múltiples ciclos de carga y descarga reduce este fenómeno. Hasta ahora, las galgas fabricadas han reducido su impacto en los valores de hasta en un 0,05%. [12]

1.1.6 Material de elemento sensible de las Galgas extensiométricas

Esta característica define el material del que está hecho el hilo conductor o el material semiconductor. Las principales se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Características de los elementos sensibles de las Galgas extensiométricas [10]

| Material | Características | Aplicaciones |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Constantán | Medidas estáticas Material más usado y barato Auto compensación térmica | Grandes elongaciones (estado plástico de deformación) |
| Isoelastic | Gran relación $\frac{S}{N^{14}}$ Precisan control de temperatura Auto compensación térmica | Medidas dinámicas Medidas de fatiga |
| Karma | La soldadura de terminales es compleja | Medidas a temperaturas bajas |
| Aleación Pt | Coste alto | Medidas con temperatura variable o no controlada Medidas a altas temperaturas |

1.1.7 Material de la matriz portadora

Esta característica define el material del que está constituida la base no conductora de la galga.

En la **Tabla 2** se muestra los principales materiales usados.

Tabla 2. Material de la matriz portadora[10]

| Material | Características | Aplicaciones |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Poliamida | Es el soporte estándar No soporta condiciones extremas de trabajo Instalación delicada | Mediciones estáticas Aplicaciones habituales |
| Epoxi | Requiere mano de obra especializada Soporta temperaturas moderadas | Medidas precisas |
| Aleación Pt | Soporta muy bien el trabajo a fatiga | Medidas cíclicas y de fatiga |

1.1.8 Fluencia de las Galgas extensiométricas

De acuerdo con Idrovo P, Luis U, Molina M.[10] La deformación constante de los materiales sometidos a cargas continuas se conoce como fluencia. Cuando una galga extensométrica se somete a una carga durante un periodo de tiempo prolongado, tiende a ajustar su longitud para aliviar la deformación, dan lugar a errores de medición, cuya magnitud depende principalmente de una serie de factores, entre ellos:

- Formas y tipos de rejillas de la galga: Las fuerzas aplicadas se reparten por una superficie mayor y la tensión de cizallamiento en los extremos del material conductor disminuye, por lo que los calibres fabricados con técnicas de circuito impreso plantean menos problemas.
- Material de soporte del elemento conductor
- Elementos adhesivos utilizados, caracterizados por su tipo y espesor
- Temperaturas altas favorecen este efecto, en cambio temperaturas bajas la disminuyen.

- Tiempo de aplicación de la carga

1.1.9 Deformación máxima de las Galgas extensiométricas

Las galgas tienen un límite de deformación, como todos los demás elementos. Este límite viene determinado por las características de los elementos conductores, los elementos de soporte y el adhesivo utilizado; en general, sin embargo, sus longitudes varían y sus deformaciones son similares. Se da un porcentaje para la deformación, con valores comprendidos entre el 0,15% y el 5%, producidos según normas que van del 20% al 25%. [10]

1.1.10 Comportamiento a la fatiga de las Galgas extensiométricas

Los distintos componentes que constituyen el calibre se deterioran progresivamente tras haber sido sometidos a diversos ciclos de carga y descarga; como consecuencia de estas variaciones, la resistencia en vacío y el factor de calibre difieren. [13]

Según Idrovo P, Luis U, Molina M. [10] Los calibres tienen la resistencia necesaria para soportar varios ciclos entre $10^5 - 10^7$, Es importante recordar que las galgas deben funcionar siempre dentro de su rango elástico. Hay más resistencia en los calibres más grandes. Téngalo en cuenta a la hora de elegirlos, sobre todo si se van a utilizar en pruebas dinámicas con cargas y descarga.

1.1.11 Sensibilidad transversal de las Galgas extensiométricas

Los calibres están configurados de modo que sólo son funcionales en esa dirección; en caso de deformación transversal, puede observarse una variación insignificante, normalmente inferior al 1%. [13]

1.1.12 Estabilidad de las Galgas extensiométricas

Las condiciones y otros factores pueden deteriorar las propiedades del medidor cuando se utiliza durante periodos prolongados o en piezas con plazos de entrega largos. Esto puede hacer que el rendimiento del instrumento se desvíe de las expectativas o incluso empeore. Se recomienda utilizar protección de silicona o epoxi.[10]

1.1.13 Influencia de la temperatura en las Galgas extensiométricas

La deformación real puede diferir de la deformación registrada en los ensayos si la temperatura de trabajo en una medición se ve influida por la temperatura a la que se encuentra.[10]

1.1.14 Disipación de calor de las Galgas extensiométricas

De acuerdo con Vincent C.[14]Una consideración crucial a la hora de utilizar galgas extensométricas es la disipación del calor. La corriente pasará a través de este elemento resistivo, ya que es un componente de un circuito electrónico. Es imprescindible tener en cuenta el consumo de energía del circuito de galgas extensométricas, ya que se libera en forma de calor dentro del elemento y del adhesivo utilizado.

1.1.15 Influencia de los campos magnéticos en las Galgas extensiométricas

Debido a los efectos de la magnetostricción y la magnetorresistencia, los campos magnéticos tienen el potencial de modificar los resultados de los ensayos. Pueden obtenerse datos erróneos cuando la magnetostricción provoca cambios en las dimensiones medidas de los materiales ferromagnéticos sometidos a ensayo.[10]

Los efectos de un campo magnético se determinan considerando las propiedades de las galgas extensométricas. Los campos magnéticos tienen la capacidad de inducir tensiones en los conductores eléctricos. Es esencial utilizar cables no inductivos o apantallados magnéticamente

en estas situaciones. Los errores en la fuente de alimentación o en los sistemas de amplificación son otra forma probable de eliminarlos. [10]

De acuerdo con Becerra H. [1], el campo eléctrico es creado por una tensión, se crea ruido electrostático. En un proceso conocido como acoplamiento capacitivo, los campos alternos introducen ruido en los conductores cercanos. Se muestra en la **Figura 6**

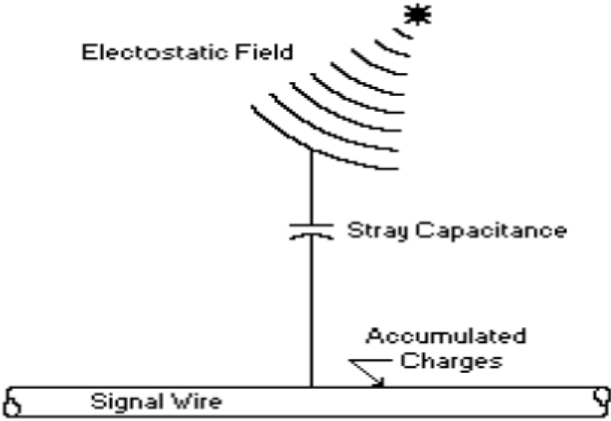


Figura 6. Ruido electrostático [1].

De acuerdo con Becerra H. [1], la presencia de un imán adecuado o el flujo de una corriente eléctrica pueden producir ruido electromagnético. Experimentar una tensión inducida debido al campo magnético. como en la **Figura 7**.

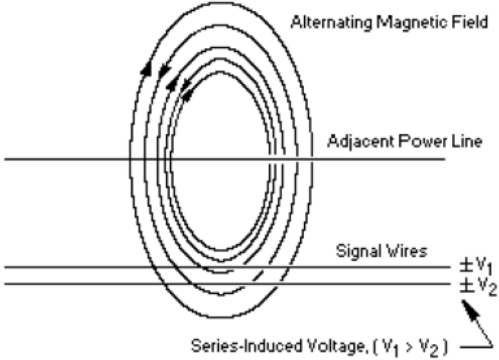


Figura 7. Diagrama ruido magnético [1]

1.2 Tipos de Galgas extensiométricas

A continuación, se detalla los diferentes tipos de galgas extensiométricas con la finalidad de dar a conocer el funcionamiento y su configuración.

1.2.1 Galgas extensiométricas Uniaxial

Se utilizan para medir deformaciones simples o en una sola dirección porque son esencialmente insensibles a la deformación transversal y miden la deformación experimentada por el calibre en la dirección de sus roscas. [10] Se muestra en la **Figura 8**.

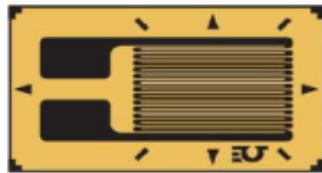


Figura 8. Galga extensiométrica uniaxial[10]

1.2.2 Galgas extensiométricas Biaxial

Los calibradores miden las deformaciones transversales (aumento o disminución de la sección transversal de la barra) y longitudinales (alargamiento o reducción de la barra), y se utilizan principalmente para aumentar la precisión de las mediciones en cargas individuales. Estos calibradores miden simultáneamente las tensiones en dos direcciones. [10] Se muestra en la **Figura 9**.

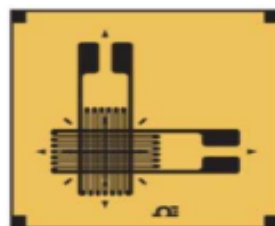


Figura 9. Galga extensiométrica Biaxial[10]

1.2.3 Galgas extensiométricas de Tipo Roseta

Un tipo de galga extensométrica de roseta es una configuración de tres galgas que mide la deformación cortante en el plano XY y la deformación normal en Y y X. Se utiliza para medir la deformación en el plano de un material. Se utiliza para medir la deformación de un material en el plano. La roseta de deformación es adecuada en función de la aplicación.[10]

Como menciona Idrovo P, Luis U, Molina M.[10] Para nombrar cada galga se comienza con la horizontal, siguiendo el sentido opuesto a las manecillas del reloj. Los valores de deformación que se obtiene en la roseta son $(\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_c)$ por lo que se tiene que resolver las ecuaciones para obtener los valores de $(\epsilon_x, \epsilon_y, Y_{xy})$ como en la Ecuación 4.

$$\begin{aligned}\epsilon_a &= \epsilon_x \cdot \cos^2 \theta_a + \epsilon_y \cdot \sin^2 \theta_a + Y_{xy} \cdot \sin \theta_a \cdot \cos \theta_a \\ \epsilon_b &= \epsilon_x \cdot \cos^2 \theta_b + \epsilon_y \cdot \sin^2 \theta_b + Y_{xy} \cdot \sin \theta_b \cdot \cos \theta_b \\ \epsilon_c &= \epsilon_x \cdot \cos^2 \theta_c + \epsilon_y \cdot \sin^2 \theta_c + Y_{xy} \cdot \sin \theta_c \cdot \cos \theta_c\end{aligned}\tag{4}$$

1.3 Celdas de carga

Las celdas de carga mostradas en la **Figura 10**, los sensores de deformación en su interior que miden los valores de deformación del dispositivo. Estos sensores forman parte de estructuras concebidas para soportar cargas específicas, como compresión, tensión o flexión.[15]

Estas señales de carga se envían a un microprocesador o dispositivo electrónico para su posterior procesamiento y recopilación de datos. Los procesos pueden utilizarse incluso para realizar análisis estadísticos de estas señales. Para recopilar datos relevantes, las diminutas señales de las células de carga deben procesarse o amplificarse, ya que estas deformaciones y sus cálculos deben realizarse con extrema precisión. Los medidores deben conectarse a un

circuito eléctrico y debe medirse la diferencia entre ellos para evaluar estas variaciones de tensión en los medidores.[1] El puente de Wheatstone se utiliza casi invariablemente como circuito para compensar la sensibilidad y medir los cambios mínimos de resistencia.



Figura 10. Celda de carga [1]

1.4 Puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone es un circuito formado por 4 resistencias configuradas como lo indica la **Figura 11**. Se utiliza de diversas formas, pero principalmente se emplea para medir los cambios de resistencia en los que es necesario.[16]. Esta aplicación se utiliza sobre todo con el uso de galgas extensométricas. La combinación del circuito, junto con amplificadores operacionales es ampliamente utilizado en la industria, ya que el sistema tiene una alta precisión de comparación de resistencia.

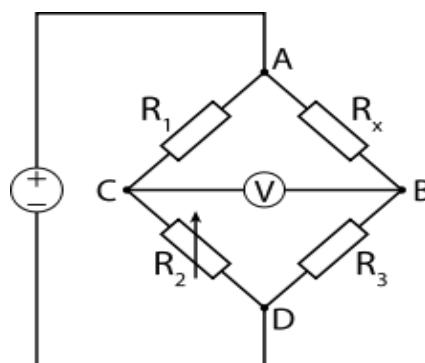


Figura 11. Puente de Wheatstone [17].

Una tensión a través de AB, el multímetro debe indicar cero, lo que representa la tensión de salida del puente de Wheatstone. Este es un método sencillo para confirmar la estabilidad del puente. Un ejemplo de configuración es el mostrado en la **Figura 12**. [10]

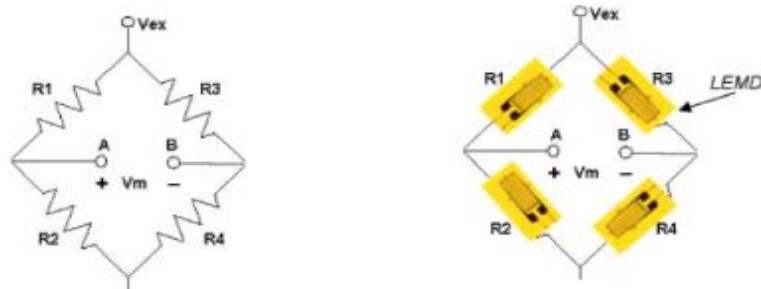


Figura 12. Configuración puente de Wheatstone [10]

Otra manera de comprobar la estabilidad del puente es cuando se aplica un divisor de tensión en los puntos A y B, demostrado en las ecuaciones 5 y 6:

$$V_A = V_{ex} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \text{ y } V_B = V_{ex} \left(\frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \quad (5)$$

$$V_m = V_{ex} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \quad (6)$$

Cuando $V_A = V_B$ se dice que el puente se encuentra en equilibrio.

La sensibilidad de la configuración es máxima cuando ambas resistencias son iguales. Es decir, R_1 , R_2 , R_3 y R_4 son iguales. Al ser iguales se asigna un nombre de R_0 , como en la ecuación 7.

$$R_0 \equiv R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (7)$$

Dependiendo de la configuración, las galgas extensiométricas pueden ocupar entre 1 y 4 ramas del puente de Wheatstone, como se observa en la **Figura 13**. Si no se utiliza una galga, el resto

de las ramas son resistencias fijas de alta exactitud y estabilidad. Dependiendo la cantidad de galgas se tiene la **Figura 14** como referencia del circuito a implementar.[10]

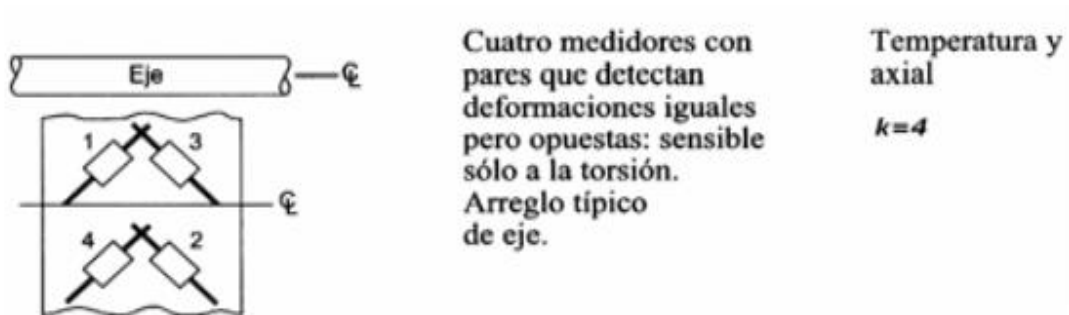


Figura 13. Configuraciones de puente de Wheatstone[9]

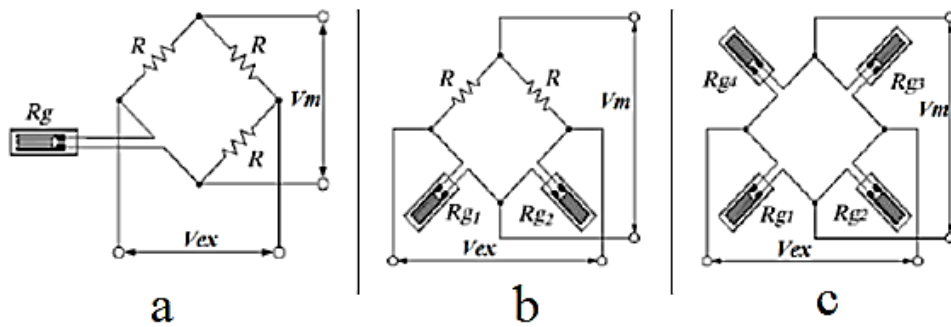


Figura 14. a) Cuarto de puente; b) Medio puente; c) Puente completo[10]

Según Idrovo P, Luis U, Molina M [10]La desventaja de la configuración a) de cuarto de puente es que no se auto compensa cuando hay una sola anchura, sino que desequilibra el puente variando sólo el valor óhmico del medidor. Esta configuración se caracteriza por una baja sensibilidad de medida. El problema es que los hilos utilizados en esta configuración causan resistencia con las partes restantes del puente; sin embargo, esta resistencia puede mitigarse utilizando una conexión de tres hilos.

La configuración de cuarto de puente se encuentra en la **Figura 15**, sea su conexión de dos o tres cables.

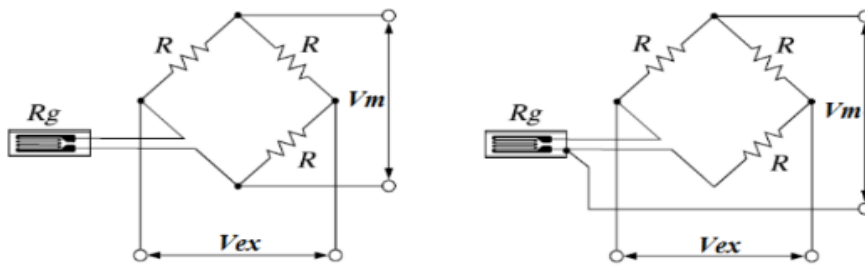


Figura 15. Conexión de dos o tres cables[10]

La configuración b) Medio puente, aumentar la sensibilidad de la medición y compensar el impacto de la temperatura en la medición. Para mejorar estos aspectos se ocupa la configuración expuesta en la **Figura 16.**[10]

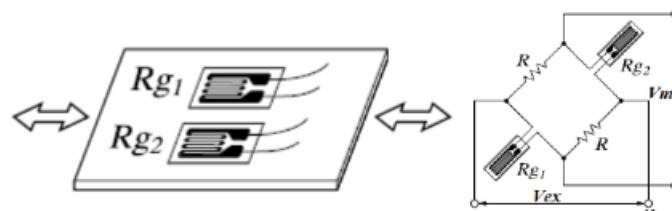


Figura 16. Configuración medio puente[10]

Se utiliza una segunda galga en dirección transversal a la primera, por lo que cualquier cambio afectarán a ambas galgas y en la medición en general. Como se observa en la **Figura 17** y **Figura 18.**[10]

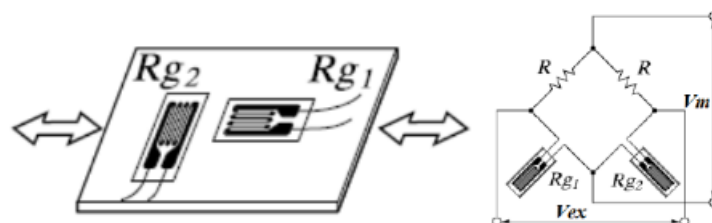


Figura 17. Configuración para compensar la temperatura[10]

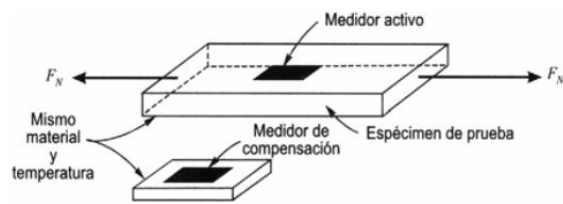


Figura 18. Medidores de compensación[9]

La última configuración, denominada puente completo (c), utiliza cuatro galgas en lugar de dos, lo que aumenta la sensibilidad del puente con respecto a las otras dos y mejora la compensación de temperatura en la medición. Esta configuración se utiliza normalmente en la construcción de células de carga. Su forma de pegado y conexión electrónica se muestra en la **Figura 19**. [10]

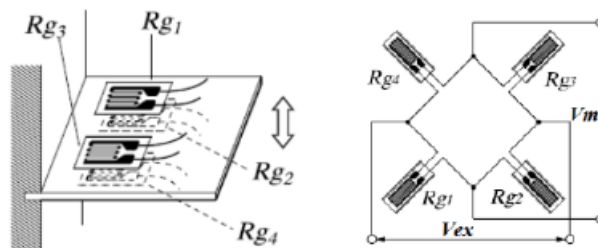


Figura 19. Configuración Puente Completo[10]

Es posible derivar variaciones adicionales para crear el puente de Wheatstone con galgas extensométricas siguiendo estas tres configuraciones. En la **Figura 20** se muestran las configuraciones más populares junto con las fórmulas correspondientes. La tensión de referencia, o V_r , viene determinada por los voltajes de entrada y salida del puente. [10]

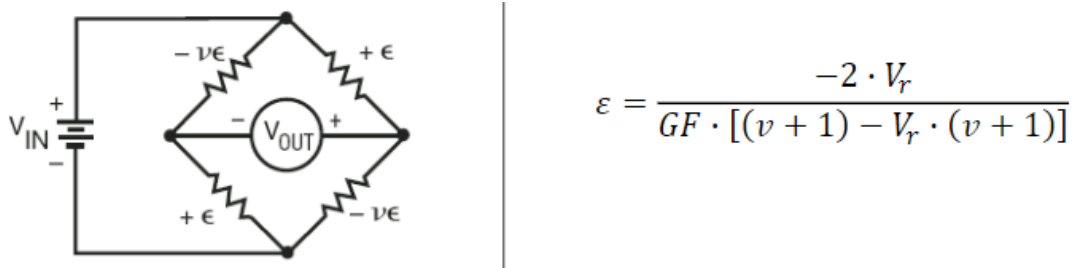


Figura 20. Tipos y formas de ser utilizado[10]

1.5 Acondicionamiento de la señal

De acuerdo con Mayné J. [18]La mayoría de los sensores y transductores requieren un acondicionamiento de la señal para que el dispositivo muestre los valores medidos. Consisten en la multiplexación eléctrica, el aislamiento, el filtrado y la amplificación, el filtrado y la amplificación. Se explica de varias maneras: de varias maneras:

- Terminación del puente: Las configuraciones de calibre y resistencia fija mostradas anteriormente.
- Excitación: Las galgas extensiométricas requieren de una fuente de poder para poder medirlas.
- Amplificación: Los contadores producen una señal muy débil, se utiliza amplificación para aumentar la eficacia del equipo.
- Filtrado: El filtro es necesario para remover cualquier componente de la frecuencia o valores que no sea deseada.
- Aislamiento eléctrico: Las señales representan un riesgo y pueden dañar el equipo de medición. Para proteger el sistema de tensiones elevadas o fluctuaciones de tensión, el equipo debe estar aislado y atenuado.
- Multiplexor: Es un sistema de bajo coste que aumenta el número de recuentos al permitir el envío secuencial de un número predeterminado de señales a un único digitalizador.

1.6 Módulos amplificadores de Instrumentación

La finalidad de estos módulos es realizar las señales, medidas en milivoltios o microvoltios, para que puedan procesarse dentro de los rangos de lectura de datos digitales o analógicos. Amplia gama de opciones disponibles en el mercado, los rangos de ganancia de estos elementos variarán mucho en función de cómo se fabriquen o utilicen. Disponen de funciones de filtrado de ruido, que garantizan una señal de alta frecuencia con la mínima distorsión., en la **Figura 21** se muestra un ejemplo de uno de ellos.[19]

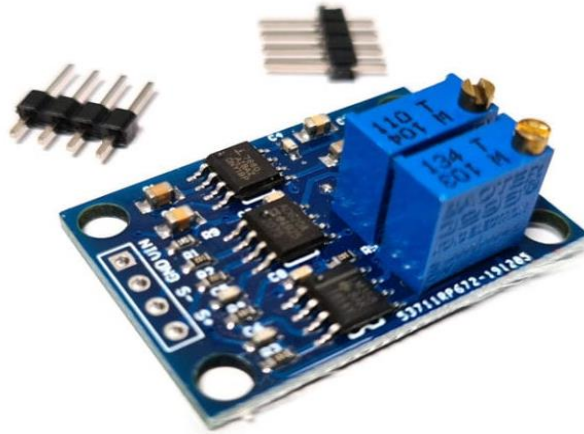


Figura 21. Módulos amplificadores [19]

1.7 Torno EMCOMAT E-200 MC

Según las especificaciones técnicas presentadas por el catálogo de EMCO[20] la velocidad máxima de rotación del torno de tres ejes controlado por CNC EMCOMAT E-200 MC es de 4000 RPM. del torno de tres ejes controlado por CNC EMCOMAT E-200 MC es de 4000 RPM. Su fundición es de excelente calidad con nervaduras fuertes para operaciones de mecanizado con baja vibración, operaciones de mecanizado con alto poder de corte y tiene un alto poder de corte. Tiene tornillos de recirculación de bolas y lubricación centralizada totalmente automática de los ejes X y Z. Control de los ejes X y Z, está equipada con volantes electrónicos. máquina

manual. El espacio de trabajo está parcialmente protegido de la fragmentación mediante puertas correderas anti-fragmentación. que se utilizará en esta investigación, es el que se encuentra físicamente en la Universidad Politécnica Salesiana. Su vista en la **Figura 22**.

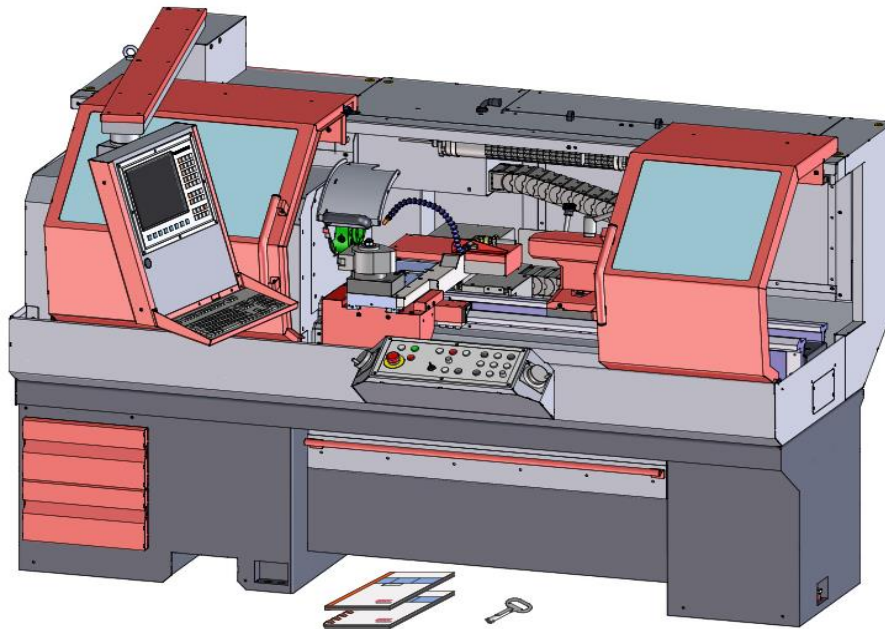


Figura 22. Torno EMCOMAT E-200 MC[21]

1.8 Mecanizado en torno

Coincidiendo con lo que menciona Nieto C. [3], las fuerzas generadas por el avance de la herramienta y la otra fuerza causada por la profundidad de corte son las que más hay que examinar durante el proceso de torneado. Para calcular estas fuerzas se utilizan las ecuaciones de Merchant, como se demostrará en la formulación del artículo.

Rivas J [4] dice que los tres componentes vectoriales que constituyen las fuerzas que actúan sobre una pieza durante un proceso de torneado pueden verse en el plano cartesiano. Estas componentes se distinguen según la relevancia de la posición de la herramienta y del torno. Estos tres componentes que menciona Salinas P. [5] y se muestra en la **Figura 23** son la fuerza

de avance, que es tangente a la velocidad de avance de la herramienta, y la fuerza de corte, que es tangente a la velocidad de giro del torno.

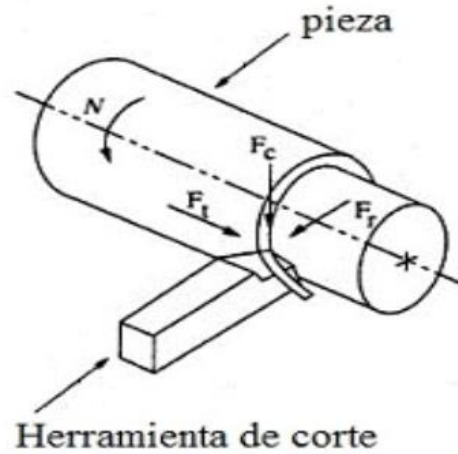


Figura 23. Movimientos en el Torno [22]

1.8.1 Fuerza de corte

Acorde a lo publicado por Rengifo I. [6], explique que la fuerza necesaria para mecanizar la pieza es la que requiere la herramienta. Dicho de otro modo, se refiere a la resistencia de la pieza. La fuerza principal, la contrafuerza y la de avance son las que componen esta resistencia, Se tiene la **Figura 24** dónde se muestra los distintos componentes de corte.

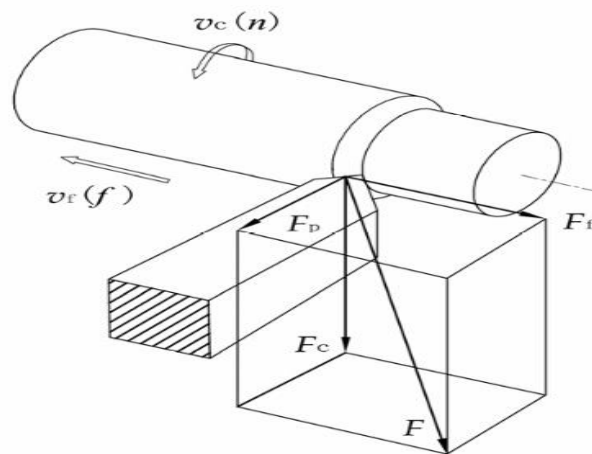


Figura 24. Fuerzas que actúan en el proceso de torneado[23]

1.8.2 Fuerza de avance

Rengifo I. [6], la fuerza producida en la dirección opuesta a la dirección de avance. El husillo principal debe ensancharse a medida que aumenta la fuerza de avance, y si la fuerza de avance es demasiado alta, el acabado superficial puede degradarse. En la **Figura 25**, se muestra como está configurado en un torno y las fuerzas que actúan.

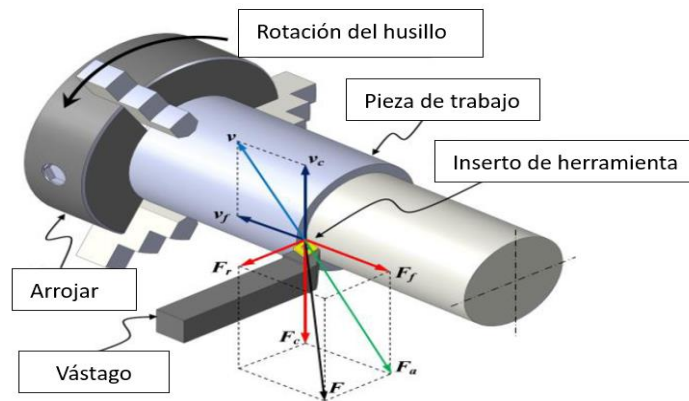


Figura 25. Fuerzas que actúan en el proceso de torneado [24]

1.9 Dinamómetro usado para medición de fuerzas

Según Rizal M., Ghani J. y Mubarak A. [24], el dinamómetro mostrado en la **Figura 26**, está compuesto por varios componentes, siendo los más importantes el transductor de fuerza, el soporte del inserto, el soporte del dinamómetro y la protección del conector.

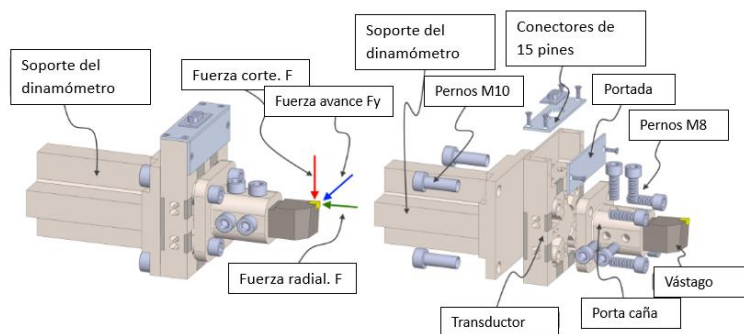


Figura 26. Dinamómetro para medición de fuerzas [24]

El transductor de fuerza transversal creado por Rizal M., Ghani J. y Mubarak A. [24], consta de una pieza mecanizada con distintas configuraciones de fuerzas como en la **Figura 27** y su implementación en la **Figura 28**.

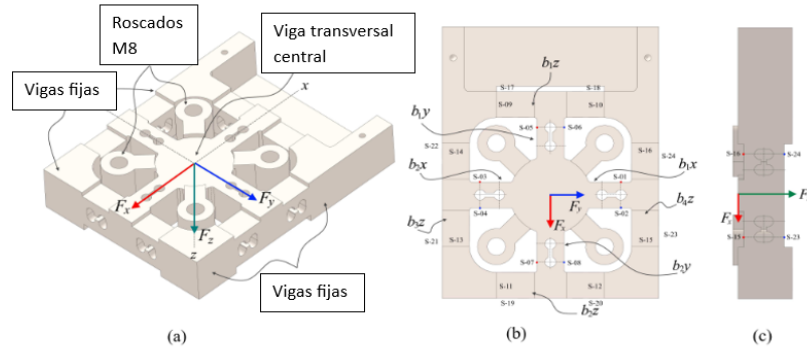


Figura 27. Dinamómetro para medición de fuerzas [24]

Una vez realizadas las conexiones del equipo, se ve de esta forma por los autores Rizal M., Ghani J. y Mubarak A. [24].

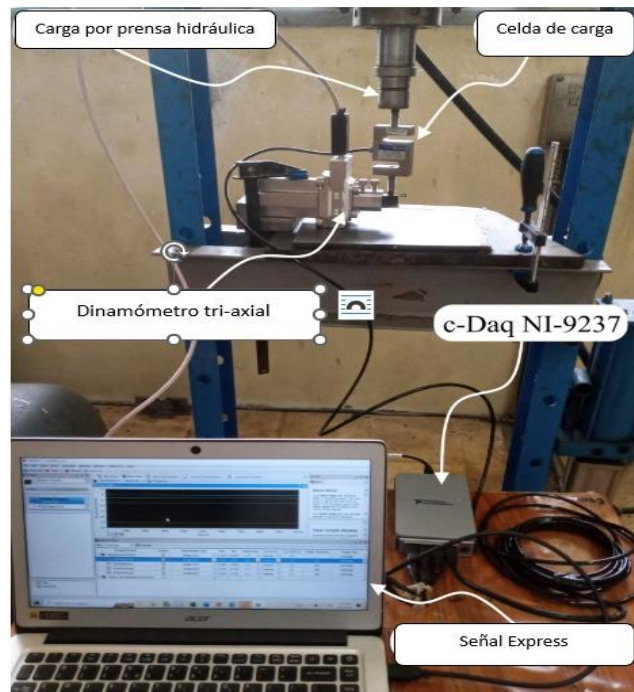


Figura 28. Dinamómetro para medición de fuerzas implementado [24]

1.10 Porta inserto para la barra de Aluminio 7075T6

Es un dispositivo de sujeción para la herramienta de corte en una máquina-herramienta. Existe una gran variedad en el mercado, en cuanto a forma y tamaño. El tipo debe ser elegido en función de la máquina y material a mecanizar. Se tiene un ejemplo en la **Figura 29**.

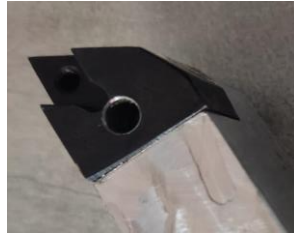


Figura 29. Porta inserto para la barra de Aluminio 7075T6

1.10.1 Tendencia en tecnología de medición de fuerza

En las pruebas de ingeniería en innovación y en respuesta a las tendencias y la demanda del mercado; las pruebas ya no se limitan a sistemas de software y amplificadores de medición. Ramírez L. [25] menciona que al aplicar sensores se logra reducir los tiempos de configuración, existe mayor flexibilidad y automatización en las pruebas que se realizan. En la **Figura 30**, un dinamómetro que se utilizaba antes de aplicar las galgas extensométricas. La figura ofrece una explicación detallada paso a paso del proceso de medición.

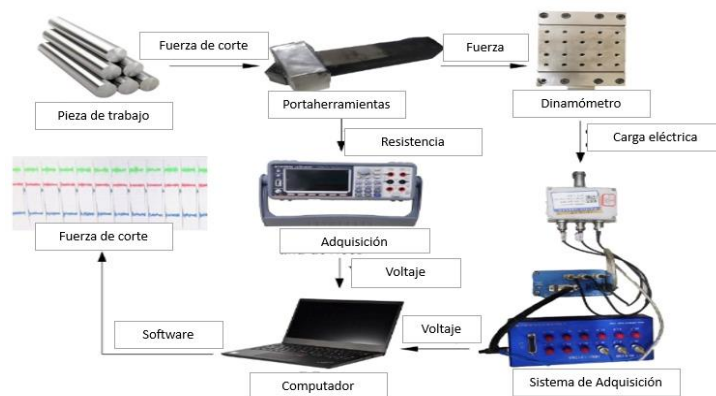


Figura 30. Proceso de ensayo[23]

Las galgas extensiométricas de última generación se ajustan a requisitos muy variados en los bancos de ensayos y en las pruebas reales como ejemplo la **Figura 31**. [26]

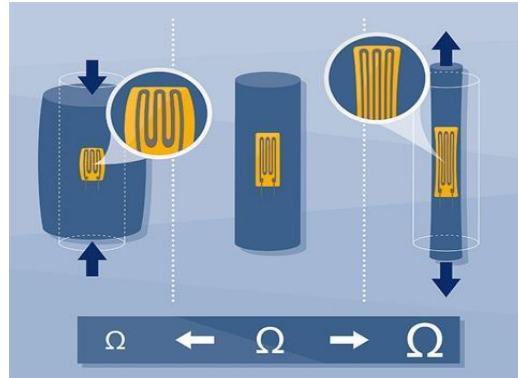


Figura 31. Tendencia en medición de fuerzas [26]

1.10.2 Insertos para mecanizado

Las plaquitas de corte o mecanizado son plaquitas intercambiables utilizadas como herramientas de corte que permiten extraer grandes cantidades de viruta de un determinado material. [27] Al ser intercambiables, ofrecen la facilidad de que una vez desgastado el filo con el que se realiza el corte, se pueden intercambiar, ahorrando tiempo en cambios de herramientas, etc. Para la selección de estos elementos se tiene en cuenta la forma, dimensiones, material de la plaquita, etc. Como en la **Figura 32**.

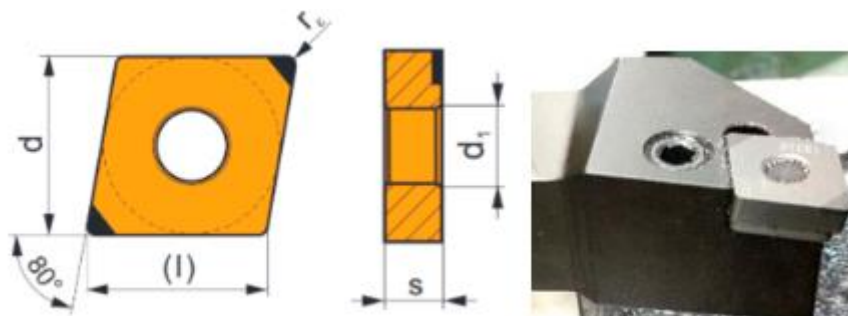


Figura 32. Dimensiones inserto [27]

Su principal composición de material es de tungsteno de titanio, tántalo y niobio. Éstos tienen una gran variedad de clasificaciones, sea por su forma o el material del cual está fabricado. Como ejemplo se tiene la **Figura 33**. [27]

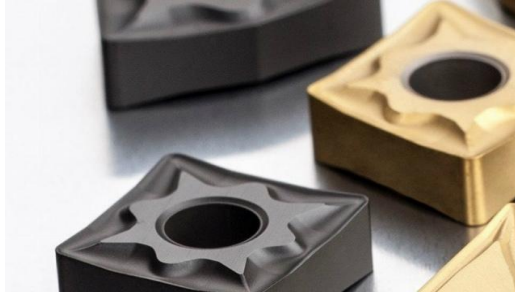


Figura 33. Ejemplos de insertos de corte [28]

1.11 Adquisición de datos con microprocesador

Como se ha mencionado anteriormente, estos datos deben obtenerse y tratarse con un microcontrolador. Estas señales se pueden obtener de forma digital o analógica y todo dependerá del tratamiento y manejo de estas. Entre los diferentes microcontroladores que se pueden utilizar se encuentran principalmente Arduino, STM32 y Raspberry. Cada uno con sus propias especificaciones y características que serán seleccionadas posteriormente en función de las necesidades.

1.12 Materiales de trabajo para elementos del prototipo

Se especifica las características de los materiales seleccionados para la fabricación del dispositivo piezo resistivo.

1.12.1 Acero 1045 en la fabricación del portaherramientas.

El acero 1045 es bajo en contenido de carbono el cual presenta diferentes aplicaciones en la industria, principalmente por sus excelentes propiedades mecánicas, resistencia y fiabilidad. [29]

Éste se utiliza en la fabricación del portainsero del prototipo.

Sus propiedades se detallan en la **Tabla 3**:

Tabla 3. Propiedades químicas Acero bajo en carbono 1045 [29]

| C | Si | Mn | S | P |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 0.68 | ≤ 0.40 | 0.75 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 |

El Acero 1045 es utilizado en el prototipo en el portainsero y la placa que sujeta al portainsero del diseño, debido a sus propiedades mostradas en la **Tabla 4**:

Tabla 4. Propiedades mecánicas Acero bajo en carbono 1045 [29]

| Acero bajo en carbono 1045 | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Resistencia a la tracción, [MPa] | Límite elástico mínimo, [MPa] | Módulo de elasticidad, E [MPa] |
| 640 | 340 | 210000 |

1.12.2 Aluminio 7075T6 para portainsero

El aluminio 7075T6 es uno de los aluminios más resistentes y con excelentes propiedades mecánicas como estabilidad, dureza y uniformidad. Este material se utiliza por sus excelentes propiedades mecánicas para la célula de carga propuesta en la que descansarán las galgas extensométricas.[30] La aleación cuenta con características incluso más elevadas que otros aluminios como se verá en la **Tabla 5**:

Tabla 5. Propiedades químicas Aluminio 7075T6 [31]

| Aluminio 7075T6 [%] | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|-------|-------|
| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Ti+Zn | Otros | Al |
| 0.4 | 0.5 | 1.6 | 0.3 | 2.5 | 0.23 | 5.6 | 0.2 | 0.25 | 0.15 | Resto |

El Aluminio 7075T6 es utilizado en el portainsero para utilizarlo como herramienta de mecanizado en las pruebas realizadas.

Debido a sus propiedades mecánicas mostradas en la **Tabla 6**:

Tabla 6. Propiedades mecánicas Aluminio 7075T6[31]

| Aluminio 7075-T6 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Resistencia a la tracción, MPa | Resistencia a la fatiga, MPa | Módulo de elasticidad, MPa |
| 572 | 159 | 72.000 |

Formulación

Se desglosan las fórmulas utilizadas para calcular los procesos de manufactura y diseño mecánico necesarios para el dispositivo.

1.13.1 Profundidad de corte

La profundidad del corte para el mecanizado está dada por la ecuación 8, en la cual la profundidad de corte está dada por la diferencia entre el diámetro inicial y final dividido entre 2.

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} \quad (8)$$

Dónde:

$a_p =$ Profundidad de corte [mm]

$D_i =$ Diámetro inicial [mm]

$D_f =$ Diámetro final [mm]

1.13.2 Tiempo de mecanizado

El tiempo de mecanizado está dado por la ecuación 9, en la cual el tiempo es calculado a partir de la longitud [m], dividido entre el avance de mecanizado [$\frac{mm}{rev}$] por el número de revoluciones [rpm].

$$t = \frac{l}{f_n \cdot n} \quad (9)$$

Dónde:

$t = tiempo [s]$

$l = Longitud [mm]$

$f_n = avance\ del\ mecanizado [\frac{mm}{rev}]$

$n = número\ de\ revoluciones [rpm]$

1.13.3 Velocidad de corte

La velocidad de corte viene dada por la ecuación 10, en la cual n es la velocidad de rotación de la pieza, y D es el diámetro de la herramienta con la cual se va a mecanizar.

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} \quad (10)$$

Dónde:

$V_c = Velocidad\ de\ corte [\frac{mm}{s}]$

$n = velocidad\ de\ rotación\ de\ la\ pieza [rpm]$

$D = Diámetro\ de\ la\ herramienta [mm]$

1.13.4 Velocidad de avance

La velocidad de avance está dada por la ecuación 11, en la cual interviene el avance por diente

$[\frac{mm}{diente}]$, el número de dientes y la velocidad de avance $[\frac{mm}{rev}]$

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (11)$$

Dónde:

$$f_z = \text{Avance por diente} [\frac{mm}{diente}]$$

$z = \text{número de dientes}$

$$V_f = \text{Velocidad de avance} (\frac{mm}{rev})$$

$n = \text{número de revoluciones [rpm]}$

1.14.1 Fuerza de corte

La fuerza de corte está dada por la ecuación 12, en la cual el valor de k es la fuerza específica de corte obtenida mediante el catálogo comercial, el área y la profundidad de la pasada de avance de la herramienta.

$$f_c = K_c \cdot f_n \cdot a_p \quad (12)$$

Dónde:

$$f_c = \text{Fuerza de corte [N]}$$

$$k = \text{Fuerza específica de corte, resistencia del material} [\frac{N}{mm^2}]$$

$$a_p = \text{Profundidad de pasada [mm]}$$

$f_n = \text{Avance por revolucion} [mm/rev]$

1.14.2 Fuerza tangencial

La fuerza tangencial viene dada por la ecuación 13, en la cual K_c es la fuerza específica de corte [$\frac{N}{mm^2}$], f_n es el avance por revolución, a_p es la profundidad de corte de pasada y la fuerza de corte específico se observa en la **Tabla 7**.

$$F_t = K_c \cdot \left(\frac{0.4}{f_n}\right)^{m_c} \cdot f_n \cdot a_p \quad (13)$$

Dónde:

$K_c = \text{Fuerza de corte específica} [\frac{N}{mm^2}]$

$f_n = \text{Avance por revolución} [\frac{mm}{rev}]$

$a_p = \text{Profundidad de corte} [mm]$

$m_c = \text{constante según el material, 0.29 de manera general}$

$a_p = \text{Profundidad de pasada} [mm]$

Tabla 7. Características Acero 1045[32]

| Acero 1045 | | |
|------------|----------------------------------------------|-------|
| HB | Fuerza de corte específica, $\frac{N}{mm^2}$ | m_c |
| 210 | 1820 | 0.25 |

1.14.3 Fuerza

La fuerza ejercida por un objeto se determina a partir de la ecuación 14, donde F es la fuerza calculada en [N], m es la masa en [Kg] y la aceleración dada por la gravedad con valores de $9.81 [\frac{m}{s^2}]$ [33]:

$$F = m \cdot a \quad (14)$$

Donde:

$F = \text{Fuerza (N)}$

$m = \text{masa (kg)}$

$a = \text{aceleración (g = } 9.81 \frac{m}{s^2}\text{)}$

1.14.4 Momento

Según Budynas R. y Nisbett J. [33] el momento en [N/mm], F es la fuerza obtenida en [N], y d es la distancia en [m] desde el punto donde se aplica la fuerza al objeto, se utiliza para calcular el momento sobre un objeto:

$$M = F \cdot d \quad (15)$$

Dónde:

$M = \text{Momento [N}\cdot\text{mm]}$

$F = \text{Fuerza [N]}$

$d = \text{Distancia [mm]}$

1.14.5 Esfuerzos

Según Budynas R. y Nisbett J. [33] el esfuerzo se obtiene a partir de la ecuación 16, en la cual la fuerza obtenida en [N] se divide para el área del objeto en [m^2]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (16)$$

En dónde:

$\sigma = \text{Esfuerzo (MPa)}$

$F = \text{Fuerza (N)}$

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

1.14.6 Esfuerzo a Flexión

Según Budynas R. y Nisbett J. [33] una forma de expresar la ecuación se muestra en la ecuación 17, en la cual el esfuerzo máximo está dado por el momento máximo [N·m], la cantidad máxima de Y [m] y el momento de inercia [m⁴].

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (17)$$

Dónde:

$\sigma_{\text{max}} = \text{Esfuerzo máximo [MPa]}$

$M = \text{Momento [Nm]}$

$c = \text{magnitud máxima de y [m]}$

$I = \text{Momento de inercia [m}^4\text{]}$

1.14.7 Elongación

La elongación del material está dada por la división del esfuerzo en [MPa] y el módulo de elasticidad obtenido por catálogo comercial [GPa]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (19)$$

Dónde:

$\varepsilon =$ Deformación unitaria [mm/mm]

$E =$ Módulo de elasticidad [GPa]

$\sigma =$ Esfuerzo [MPa]

$l_f =$ longitud final [mm]

$l_o =$ longitud inicial [mm]

1.14.8 Punto de Inercia

Según Budynas R. y Nisbett J. [33], el punto de inercia de un objeto obtenido en [mm⁴] se calcula con la ecuación 20, dentro de la cual interactúan, la base del objeto en [mm] y la altura del objeto en [mm]:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (20)$$

Dónde:

$I =$ Punto de inercia [mm⁴]

$b =$ base [mm]

$h =$ altura [mm]

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL DISPOSITIVO PIEZO RESISTIVO

Este capítulo ofrece un diseño del dispositivo piezo resistivo, simulación, análisis mecánico, desarrollo del sistema eléctrico y vinculación de la interfaz.

2.1 Diseño mecánico del prototipo

En la **Figura 34**, se muestra una parte del plano de conjunto en la que se tiene todas las piezas que forman parte del sistema.

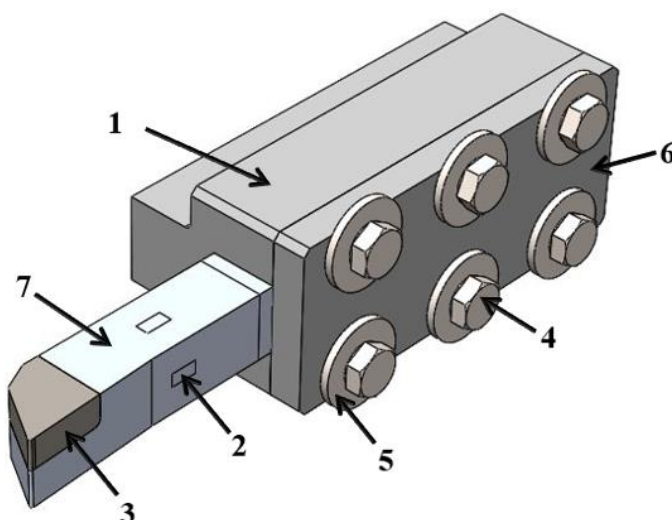


Figura 34. Elementos que componen el sistema mecánico

Se observa que el prototipo forma un conjunto de 7 piezas, que se detallan en la **Tabla 8**. Cada pieza ha sido seleccionada o diseñada, de acuerdo con las necesidades del tema a tratar.

Tabla 8. Componentes del diseño mecánico del prototipo

| Número de pieza | Pieza o componente | Función |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Portaherramientas | Mecanismo que sujeta la barra del portainsero para su estudio. |
| 2 | Galga Extensiométrica | Sensor para medir deformaciones. |
| 3 | Inserto | Inserto para mecanizado de piezas metálicas. |
| 4 | Perno M_8 | Perno de sujeción medidas M_8 . |
| 5 | Arandela M_8 | Arandelas planas para uso con Pernos M_8 . |
| 6 | Placa sujeción Porta insertos | Placa para sujeción del portainsero con ayuda de elementos de sujeción. |
| 7 | Porta Inserto | Barra en la cual será depositado y sujeto el inserto seleccionado. |

2.2. Diseño de la Placa Portaherramientas

La placa del portaherramientas será la encargada de la sujeción del portainsero para el proceso de mecanizado y las pruebas pertinentes del equipo. Se muestra en la **Figura 35**.

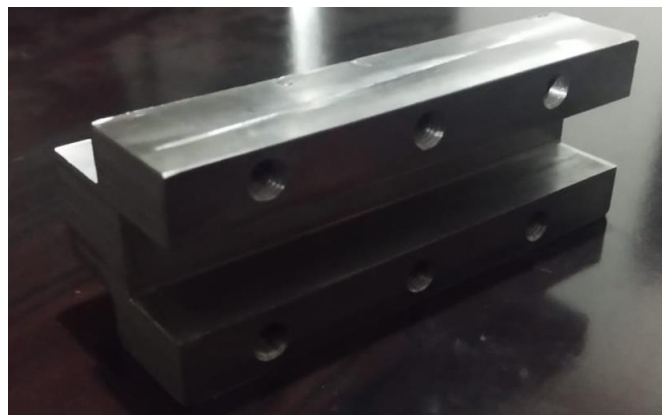


Figura 35. Portaherramientas del dispositivo piezo resistivo

2.2.1 Especificaciones técnicas de la Placa Portaherramientas

En la **Tabla 9**, se muestran las especificaciones técnicas de la pieza y del material con el que fue fabricado.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de la Placa Portainsero

| Especificación técnica | Descripción |
|------------------------------------|--------------------|
| Dimensiones brutas | |
| Material con el que está fabricado | Acero 1045 |
| Acabado | N9 |
| Número de pieza | 1 |
| Recubrimiento | No |
| Tratamiento térmico | No |

De acuerdo con el catálogo de Europer [34], los parámetros de torneado con metal duro se muestran en la **Tabla 10** y los parámetros del fresado en la **Tabla 11**:

Tabla 10. Parámetros de corte Acero 1045 para el Torno[34]

| Parámetros de corte | Torneado de desbaste | Torneado fino |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 150-220 [m/min] | 220-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-6 [mm] | 2 [mm] |

Tabla 11. Parámetros de corte Acero 1045 para la Fresadora[34]

| Parámetros de corte | Fresado de desbaste | Fresado en fino |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 160-200 [m/min] | 200-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-5 [mm] | 2 [mm] |

2.3 Cálculos del Portainsero

2.3.1 Cálculo de cargas soportadas

La fuerza cortante utilizada en estos cálculos procede de una perspectiva superior a la del prototipo. En la **Figura 36** se obtiene el diagrama de fuerzas del dispositivo. Calculando primero la fuerza aplicada con la ecuación 12, el momento con la ecuación 15, el punto de inercia de la pieza con la ecuación 20, la tensión máxima con la ecuación 17, el alargamiento con la ecuación 18 y el alargamiento final con la ecuación 19.



Figura 36. Fuerza de corte vista superior.

$$F_c = K_c \cdot f_c \cdot a_p \quad (12)$$

$$F_c = 819.52 \text{ N}$$

$$M = F \cdot d \quad (15)$$

$$M = 42588 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (20)$$

$$I = \frac{20 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}^3}{12}$$

$$I = 13333.33 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (17)$$

$$\sigma_{max} = \frac{42588 (N \cdot mm) \cdot 10mm}{13333.33 mm^4}$$

$$\sigma_{max} = 31.94 \frac{N}{mm^2} (MPa)$$

$$E = 72000 MPa \quad (18)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{31.94 MPa}{72000 MPa} \quad (19)$$

$$\varepsilon = 0.00044$$

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{l_f - 3mm}{3mm}$$

$$0.00022 = \frac{l_f - 3mm}{3mm}$$

$$l_f = 3.00132 mm$$

Después se obtiene la fuerza tangencial que se encontrará en el cálculo visto desde una cara frontal, y su diagrama se muestra en el **Figura 37**. Calculando primero la fuerza aplicada con la ecuación 12, el momento con la ecuación 15, el punto de inercia de la pieza con la ecuación 20, la tensión máxima con la ecuación 17, el alargamiento con la ecuación 18 y el alargamiento final con la ecuación 19.



Figura 37. Fuerza tangencial de corte.

$$F_c = K_c \cdot f_c \cdot a_p \quad (12)$$

$$F_c = 880.07 \text{ N}$$

$$M = F \cdot d \quad (15)$$

$$M = 45763.64 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (20)$$

$$I = \frac{20 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}^3}{12}$$

$$I = 13333.33 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I} \quad (17)$$

$$\sigma_b = \frac{45763.64 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \cdot 10 \text{ mm}}{13333.33 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_b = 34.32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ (MPa)}$$

$$E = 72000 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{34.32 \text{ MPa}}{72000 \text{ MPa}}$$

$$\varepsilon = 0.00048$$

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{l_f - 3\text{mm}}{3\text{mm}}$$

$$0.00028 = \frac{l_f - 3\text{mm}}{3\text{mm}}$$

$$l_f = 3.00144 \text{ mm}$$

Para el límite elástico mínimo se usa los valores obtenidos en las hojas de datos de los materiales a utilizar.

$$75 \text{ Ksi (517 MPa)} \rightarrow 60 \text{ Ksi} \rightarrow 414 \text{ MPa}$$

$$190 \text{ GPa} \rightarrow \text{Módulo elástico de Young}$$

$$320 \text{ MPa} \rightarrow \text{Resistencia a la fatiga}$$

Para la fuerza tangencial ecuación 13, para la fuerza de corte se usa la ecuación 12.

$$F_t = K_c \cdot \left(\frac{0.4}{f_n}\right)^{m_c} \cdot f_n \cdot a_p \quad (13)$$

$$m_c = 0.25$$

$$k_c = 1820 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_c = k \cdot f_n \cdot a_p \quad (12)$$

$$K_c = 1820 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$\text{Con } a_p = 1.5 \text{ mm} ; f_n = 0.3 \text{ mm}$$

$$f_c = 1820 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \cdot 0.3 \text{ mm} \cdot 1.5 \text{ mm}$$

$$f_c = 819 \text{ N}$$

$$f_t = 1820 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \cdot \left(\frac{0.4 \text{ mm}}{0.15 \text{ mm}} \right)^{0.25} \cdot 0.3 \text{ mm} \cdot 1.5 \text{ mm}$$

$$f_t = 880.07 \text{ N} \cdot mm^2$$

Tabla 12. Resultados teóricos con profundidad 1.5 mm y avance de 0.15 mm

| Avance [mm/rev] | Profundidad [mm] | Fuerza teórica $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$ |
|-----------------|------------------|------------------------------------------------|
| 0.3 | 1.5 | Fc = 819.52 Ft = 880.07 |

2.3.2 Velocidad de avance para Portainsero con Acero 1045

El avance para el mecanizado del portainsero de acero 1045 se determina a partir de la ecuación 11, donde f_z es el avance por diente en mm, el valor de z es el número de dientes y n es la velocidad del husillo medida en [rpm].

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (11)$$

$$f_z = 0.1 \frac{mm}{diente}$$

$$z = \text{número de dientes} = 6$$

$$V_f = 0.1 \frac{mm}{diente} \cdot 6 \text{ diente} \cdot 185.680 \text{ RPM}$$

$$V_f = 111.41 \frac{mm}{min}$$

2.3.3 Cálculo de velocidad de corte Portainsero Acero 1045

La velocidad de corte del portainsero de acero 1045 viene dada por la ecuación 10, en la que n es la velocidad de giro de la pieza y D es el diámetro de la herramienta a mecanizar.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (10)$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$V_c = \text{obtenida de tabla de fresado frontal y axial HSS} = (35) \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$n = \frac{35 \frac{m}{min} \cdot 1000}{60 \text{ mm} \cdot \pi}$$

$$n = 185.68 \text{ RPM}$$

2.3.4 Cálculo de profundidad de corte Portainsero Acero 1045

Para el cálculo de la profundidad de corte del portainsero de acero 1045 se utiliza la ecuación 8, en la que D_i se utiliza como diámetro inicial y D_f como diámetro final.

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} \quad (8)$$

SIMULACIÓN

Esta sección nos muestra un análisis detallado de cómo se realiza un análisis estático de las tensiones y un estudio del factor de seguridad mínimo en la parte más crítica.

2.4 Simulación estática de la estructura

Los dos materiales con los que estamos trabajando deben mantenerse separados para simular la estructura del material. Los parámetros para el proceso de mallado automático de SolidWorks se muestran en la siguiente **Figura 38**.

| Malla Detalles | |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Nombre de estudio | Análisis estático 1 (-Predeterminado-) |
| Tipo de malla | Malla sólida |
| Mallador utilizado | Malla estándar |
| Transición automática | Desactivar |
| Incluir bucles automáticos de malla | Desactivar |
| Puntos jacobianos para malla de alta calidad | En los nodos |
| Tamaño de elemento | 2,15067 mm |
| Tolerancia | 0,107534 mm |
| Calidad de malla | Elementos cuadráticos de alto orden |
| Número total de nodos | 116861 |
| Número total de elementos | 77999 |
| Cociente máximo de aspecto | 13,944 |
| Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3 | 99,7 |
| Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10 | 0,00199 |
| Porcentaje de elementos distorsionados | 0 |
| Número de elementos distorsionados | 0 |
| Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible | Desactivar |
| Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss) | 00:00:02 |
| Nombre de computadora | |

Figura 38. Parámetros de mallado en la estructura

En la **Figura 39** se muestra la forma en la que se realiza el mallado de tipo sólido en toda la pieza, recordando que es compuesta por dos materiales diferentes.

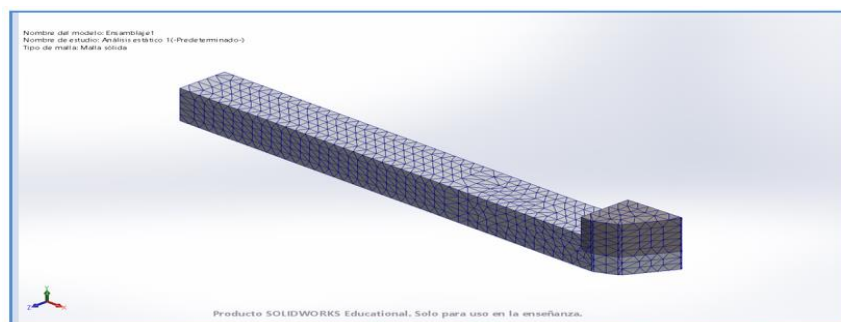


Figura 39. Mallado sólido en el prototipo

En la **Figura 40**, se indica las propiedades de los materiales con los cuales fue realizado el estudio de simulación estática.


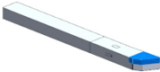
| Propiedades de material | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Referencia de modelo | Propiedades | Componentes |
|  | <p>Nombre: 7075-T6 (SN) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coeficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2,810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin</p> | Sólido 1(Línea de partición4)(BARRA.stp-1) |
| Datos de curva:N/A | | |
|  | <p>Nombre: AISI 1045 Acero estirado en frío Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 5,3e+08 N/m² Límite de tracción: 6,25e+08 N/m² Módulo elástico: 2,05e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 7,850 kg/m³ Módulo cortante: 8e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 1,2e-05 /Kelvin</p> | Sólido 1(Línea de partición3)(INSERTO.stp-1) |
| Datos de curva:N/A | | |

Figura 40. Propiedades de los materiales

En la **Figura 41** se muestra la corriente de aspecto que tiene la estructura delimitada por colores en el estudio.

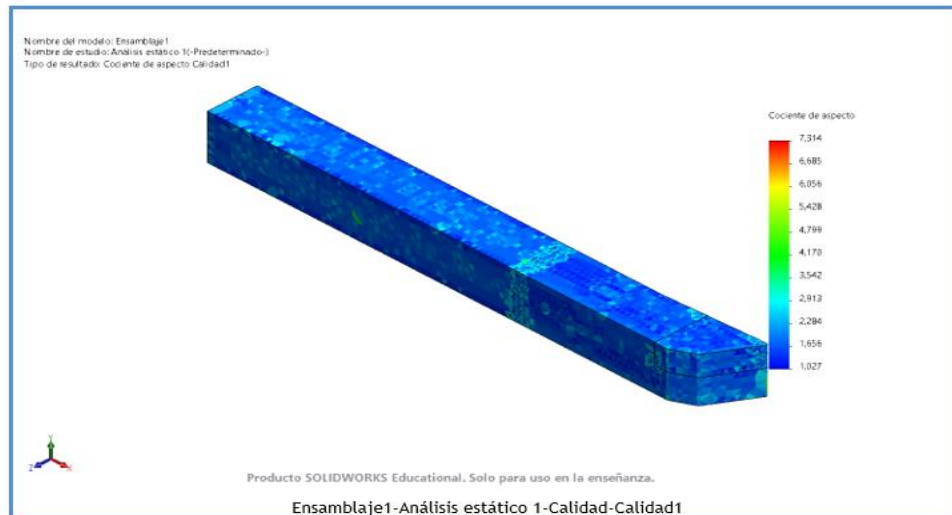


Figura 41. Corriente de aspecto del prototipo

Se muestra en la **Figura 42** el resultado del análisis estático de las tensiones en la estructura realizada en SolidWorks. Éste muestra una tensión máxima de 1433.13 MPa, que será utilizada para los cálculos restantes.

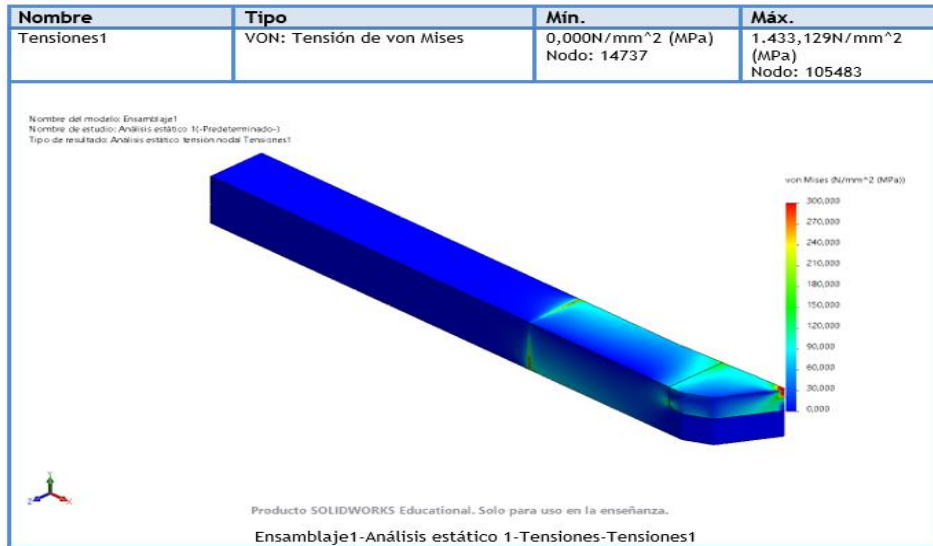


Figura 42. Simulación de tensión Von Mises en la estructura

La deformación unitaria es mostrada en la **Figura 43**, en la cual se puede apreciar un valor máximo de 0.0058 en el elemento 77913.

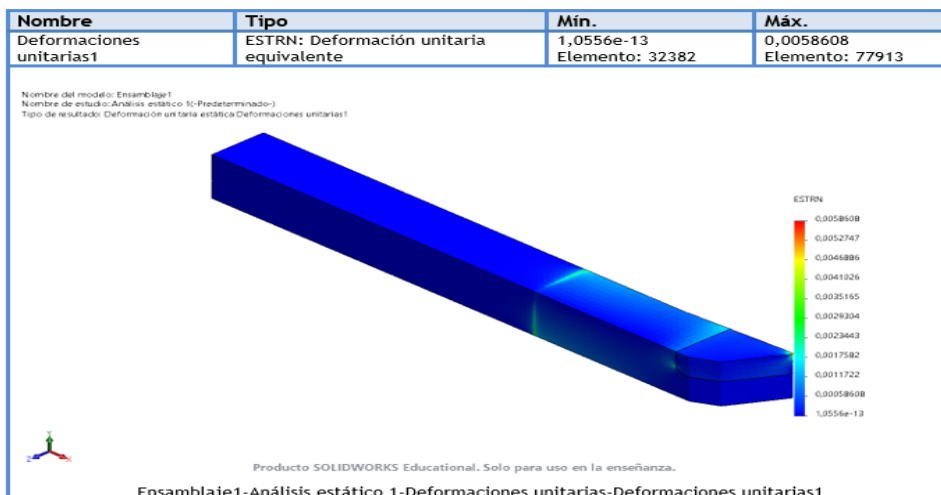


Figura 43. Deformación unitaria equivalente en la estructura

La deformación unitaria normal es mostrada en la **Figura 44**, en la cual se puede apreciar un valor máximo de 0.00562 en el elemento 14265.

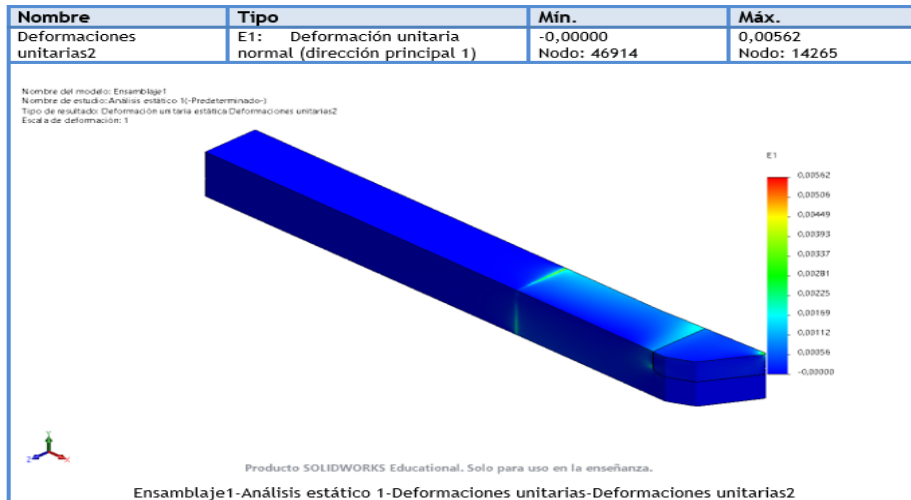


Figura 44. Deformación en el primer eje

La deformación unitaria normal en la dirección principal 2 es mostrada en la **Figura 45**, en la cual se puede apreciar un valor máximo de 0.002 en el nodo 105483.

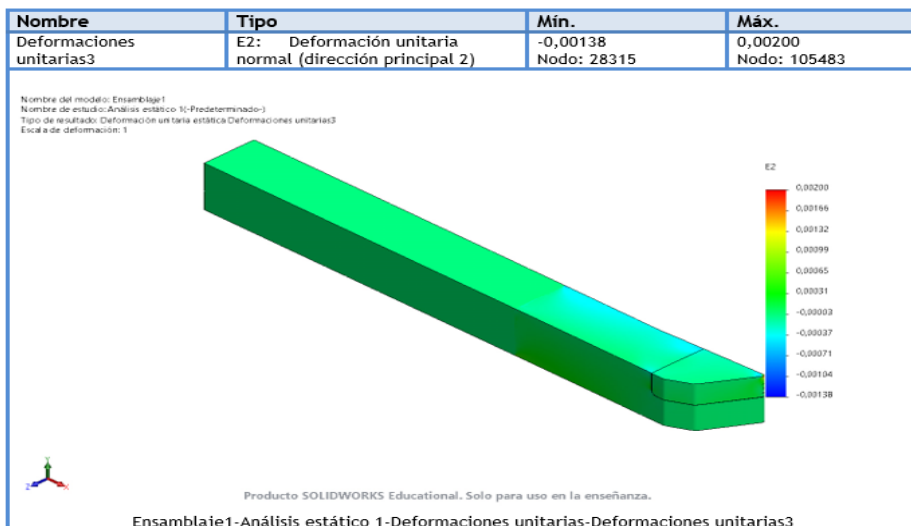


Figura 45. Deformación unitaria normal

Con respecto a las tensiones, se tiene que la primera tensión principal es de 915 MPa en el Nodo 102863 y se muestra en la **Figura 46**.

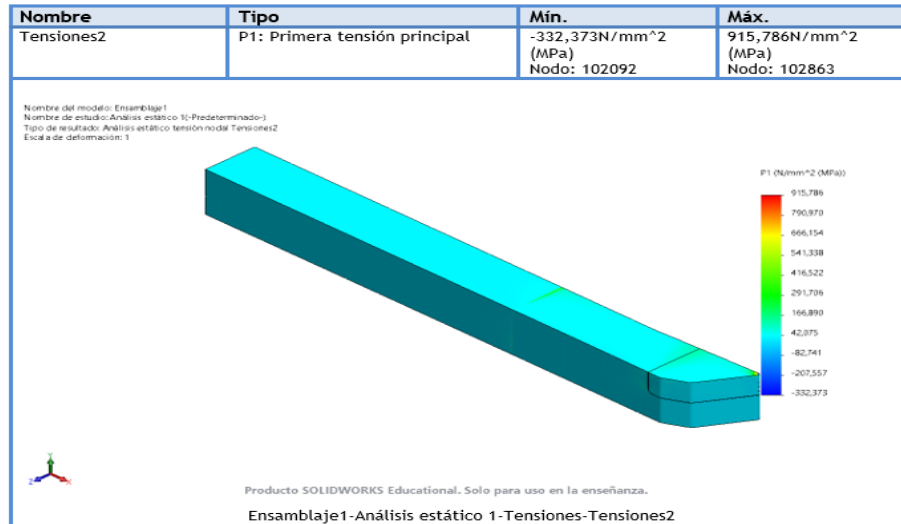


Figura 46. Primera tensión principal

La segunda tensión principal con un máximo de 254 MPa en el Nodo 102863 mostrado en la **Figura 47**.

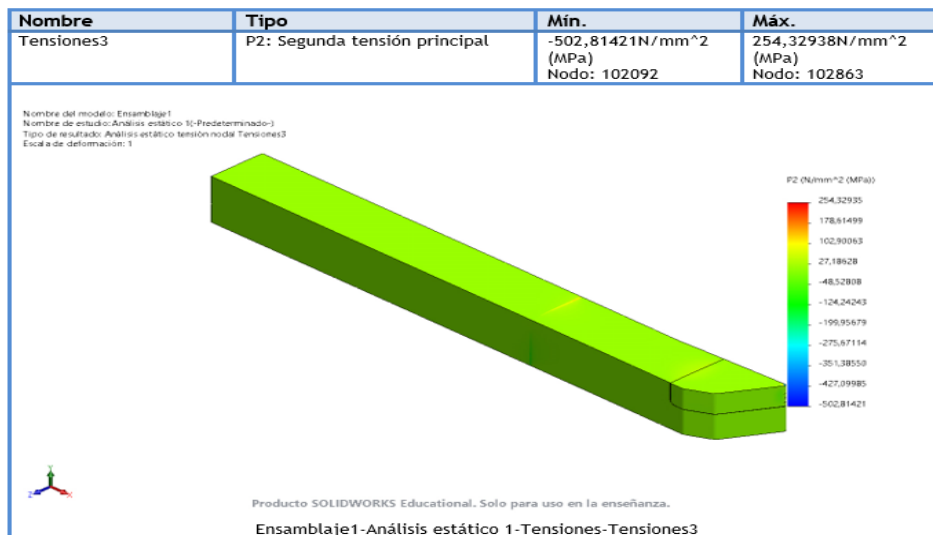


Figura 47. Segunda tensión principal

Prosiguiendo con el desplazamiento de la estructura en la **Figura 48** en la cual se puede apreciar en escala de colores que la mayor deformación se presenta en la punta del inserto, con una deformación aproximada de 0.304 [mm].

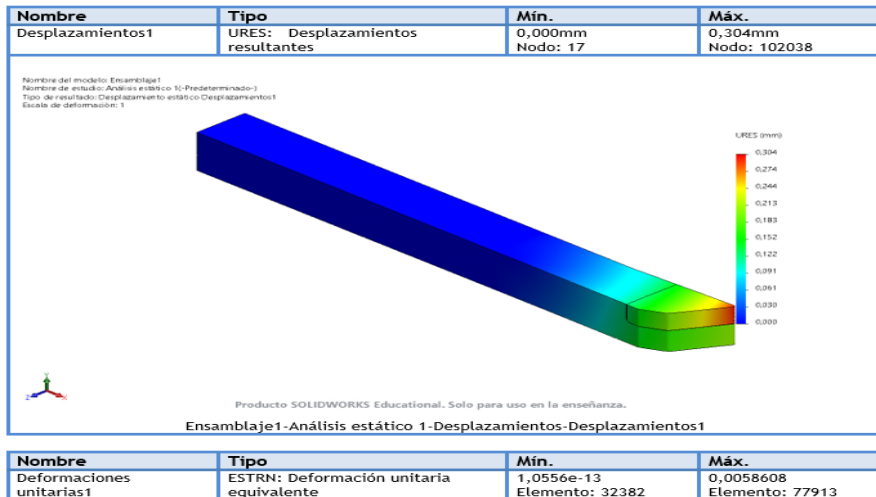


Figura 48. Desplazamiento en la estructura

Y por último el factor de seguridad se presenta en los estudios un factor de seguridad mínimo en la parte más crítica de 0.37, presente en una pequeña fracción de la estructura de acuerdo con el análisis estático. Su resultado se encuentra en la **Figura 49**.

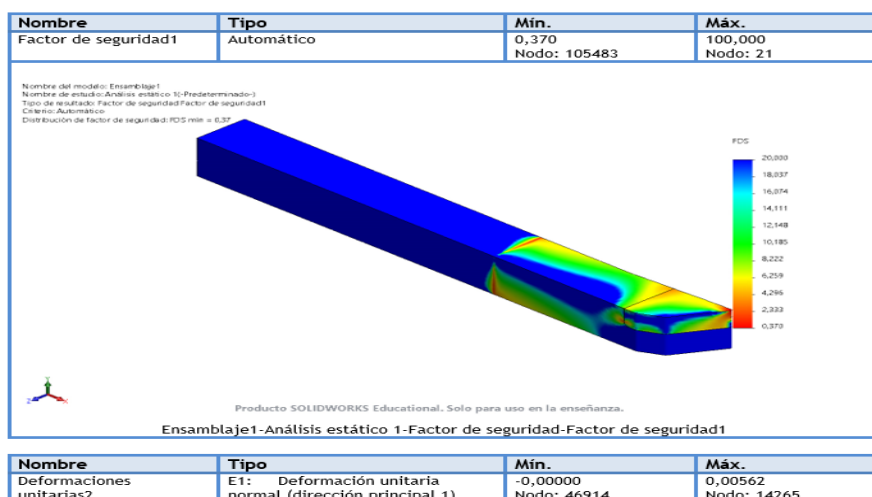


Figura 49. Factor de seguridad

ANÁLISIS DE MANUFACTURA

Esta sección nos muestra el diseño del dispositivo, la forma de realizar un mecanizado con los parámetros y especificaciones técnicas de la pieza.

2.5 Diseño de la Placa

Para la placa es necesario realizar su mecanizado de acuerdo con los parámetros con los que fue diseñado, tal como se muestra en la **Figura 50**.



Figura 50. Placa de sujeción en Acero 1045.

2.5.1 Especificaciones técnicas de la Placa

En la **Tabla 13**, se presenta las especificaciones técnicas de la pieza y del material con el que fue fabricado por el proceso de mecanizado correcto.

Tabla 13. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserto

| Especificación técnica | Descripción |
|------------------------------------|--------------------|
| Dimensiones brutas | 15 x 140 x 70 [mm] |
| Material con el que está fabricado | Acero 1045 |
| Acabado | N9 |
| Número de pieza | 6 |
| Recubrimiento | No |
| Tratamiento térmico | No |

2.5.2 Velocidad de avance para Placa Acero 1045

El avance para el Acero 1045 a mecanizar en forma de placa se determina a partir de la ecuación 11, donde f_z es el avance por diente en mm, el valor de z es el número de dientes y n las revoluciones del husillo medidas en [rpm].

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (11)$$

$$f_z = 0.1 \frac{mm}{diente}$$

$$z = \text{número de dientes} = 6$$

$$V_f = 0.1 \frac{mm}{diente} \cdot 6 \text{ diente} \cdot 577.0423 \text{ RPM}$$

$$V_f = 334.23 \approx 340 \frac{mm}{min}$$

2.5.3 Cálculo de velocidad de corte Placa Acero 1045

La velocidad de corte del acero 1045 viene dada por la ecuación 10, en la que n es la velocidad de giro de la pieza y D es el diámetro de la herramienta a mecanizar.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (10)$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$V_c = \text{obtenida de tabla de fresado frontal y axial HSS} = (35) \left(\frac{m}{min} \right)$$

$$n = \frac{35 \frac{m}{min} \cdot 1000}{20 \text{ mm} \cdot \pi}$$

$$n = 557.04 \approx 560 \text{ [rpm]}$$

2.5.4 Cálculo de profundidad de corte Placa Acero 1045

Para el cálculo de la profundidad de corte de la chapa de acero 1045 se utiliza la ecuación 8, en la que D_i se utiliza como diámetro inicial y D_f como diámetro final.

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} \quad (8)$$

$$a_p = \frac{20 \text{ mm} - 12.46 \text{ mm}}{2}$$

$$a_p = 3.77 \text{ mm}$$

De acuerdo con Europer [34], los parámetros de torneado con metal duro se muestran en la **Tabla 14** y los parámetros del fresado en la **Tabla 15**:

Tabla 14. Parámetros de corte Torno en Acero 1045 Para construcción del portaherramientas.[34]

| Parámetros de corte | Torneado de desbaste | Torneado fino |
|----------------------------|----------------------|-----------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 150-220 [m/min] | 220-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-6 [mm] | 2 [mm] |

Tabla 15. Parámetros de corte Fresado en Acero 1045 Para la Construcción de soporte.[34]

| Parámetros de corte | Fresado de desbaste | Fresado en fino |
|----------------------------|---------------------|-----------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 160-200 [m/min] | 200-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-5 [mm] | 2 [mm] |

2.6 Diseño de la barra de portainsero de Aluminio 7075T6

La barra que sujetará la plaquita de mecanizado se construirá en Aluminio 7075 T6, que por sus propiedades se ha elegido como el idóneo para el prototipo propuesto. Se muestra en la **Figura 51**.



Figura 51. Barra en Aluminio 7075 T6

2.6.1 Especificaciones técnicas de la barra de inserto de Aluminio 7075T6

En la **Tabla 16**, se presentan las especificaciones técnicas de la pieza y el material con el que se ha fabricado mediante el proceso de mecanizado correcto.

Tabla 16. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserto

| Especificación técnica | Descripción |
|------------------------------------|--------------------|
| Dimensiones brutas | 25 x 250 [mm] |
| Material con el que está fabricado | Aluminio 7075 T6 |
| Acabado | N9 |
| Número de pieza | 2 |
| Recubrimiento | No |
| Tratamiento térmico | No |

2.6.2 Velocidad de avance para Aluminio 7075T6

El avance para Aluminio 7075 T6 se determina a partir de la ecuación 11, donde f_z es el avance por diente en mm, el valor de z es el número de dientes y n es la velocidad del husillo medida en [rpm].

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (11)$$

$$f_z = 0.4 \frac{mm}{diente}$$

$$z = \text{número de dientes} = 4$$

$$V_f = 0.4 \frac{\text{mm}}{\text{diente}} \cdot 4 \text{ dientes} \cdot 477.46 \text{ RPM}$$

$$V_f = 763.94 \approx 770 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

2.6.3 Cálculo de velocidad de corte Aluminio 7075T6

La velocidad de corte del Aluminio 7075T6 está dada por la ecuación 10, en la cual, n es la velocidad de la rotación de la pieza y D es el diámetro de la herramienta con la cual se va a mecanizar.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (10)$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$V_c = \text{obtenida de tabla de fresado con acero rápido} = (250 - 400) \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)$$

$$n = \frac{300 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1000}{200 \text{ mm} \cdot \pi}$$

$$n = 477.46 \approx 478 \text{ RPM}$$

2.6.4 Cálculo de profundidad de corte Aluminio 7075T6

La ecuación 8 se utiliza para calcular la profundidad de corte del aluminio 7075T6, en la que D_i se utiliza como diámetro inicial y D_f como diámetro final.

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} \quad (8)$$

De acuerdo con Europer [34], los parámetros de torneado con metal duro se muestran en la **Tabla 17** y los parámetros del fresado en la **Tabla 18**:

Tabla 17. Parámetros de corte Acero 1045 en el torno.[34]

| Parámetros de corte | Torneado de desbaste | Torneado fino |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 150-220 [m/min] | 220-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-6 [mm] | 2 [mm] |

Tabla 18. Parámetros de corte Acero 1045 en la fresadora.[34]

| Parámetros de corte | Fresado de desbaste | Fresado en fino |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Velocidad de corte [m/min] | 160-200 [m/min] | 200-300 [m/min] |
| Profundidad de corte [mm] | 2-5 [mm] | 2 [mm] |

2.7 Selección Pernos M_8

Para la sujeción de la Placa con el portainsero para las respectivas mediciones se utiliza Pernos M_8 , los cuales son de fácil accesibilidad en el mercado, y cumplen con el propósito al cual fue destinado. En la **Figura 52** se puede observar la forma en la que el prototipo fue armado.



Figura 52. Pernos M_8 colocados

2.7.1 Especificaciones técnicas del Perno M_8

Las características técnicas de los pernos utilizados se muestran en la **Tabla 19**. Características las cuales fueron seleccionadas de acuerdo con su utilización en el prototipo.

Tabla 19. Especificaciones técnicas de la Placa Portainserto

| Especificación técnica | Descripción |
|------------------------------------|---------------------|
| Dimensiones brutas | M_8 x |
| Material con el que está fabricado | Acero templado 1045 |
| Grado | 8.8 Métrico |
| Número de pieza | 4 |
| Recubrimiento | No |
| Tratamiento térmico | No |

2.8 Selección Inserto

La forma de la zona donde se insertará el inserto, se determina en el porta insertos, como en la **Figura 53**. A partir de ahí, se tomará en cuenta otros factores como su dureza, materiales para los cuales está destinado y distintas características.

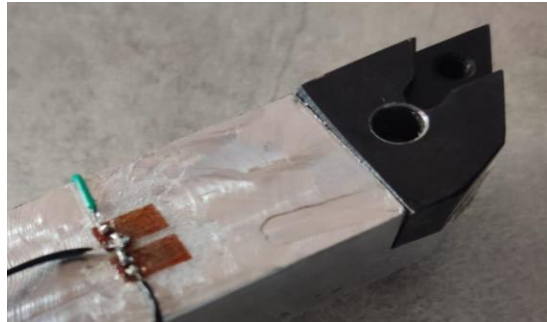


Figura 53. Portainserto del prototipo

2.8.1 Especificaciones técnicas del Inserto

Es vital comprender la función y la forma del elemento de corte antes de elegir cuál utilizar en el portaherramientas. En la **Figura 54**, se puede observar las características obtenidas a partir de un catálogo de herramientas.



Figura 54. Especificaciones técnicas del inserto[35]

Dentro de estas características se encuentra un código del inserto y una foto referencial como en la **Figura 55**.



Figura 55. Características del inserto[35]

Con esta referencia, y basándose en sus dimensiones mostradas en la **Tabla 20** y sus condiciones de corte en la **Tabla 21**. Por último, se elige el código 11T304-HMP; sus detalles, extraídos del catálogo, figuran en los apéndices a la conclusión del artículo.

Tabla 20. Dimensiones del inserto 11T304-HMP[35]

| l [mm] | d [mm] | t [mm] | r [mm] | d1 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| 11.2 | 9.525 | 3.97 | 0.4 | 4.4 |

Tabla 21. Condición de corte Inserto 11T304-HMP[35]

| fn [mm/dev] | ap [mm] |
|--------------------|----------------|
| 0.08 – 0.23 | 0.30 – 3.00 |

2.9 Diseño del dispositivo

Antes de iniciar cualquier proceso relacionado con el diseño y la creación de un prototipo, deben tenerse en cuenta las distintas necesidades que el proyecto pretende crear. En consecuencia, deben analizarse de acuerdo con criterios particulares. Además, se muestra una tabla de elementos junto con una descripción de cada uno de ellos, **Tabla 22**.

Tabla 22. Elementos del Arduino Uno R3

| Elemento | Descripción |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Arduino UNO R3 | Microcontrolador para procesamiento de datos |
| Galga extensiométrica | usadas como sensor de deformación en el elemento. |
| Módulo HXT-711 | Encargado de la amplificación y tratamiento de la señal hacia el microprocesador. |
| Puente de Wheatstone | Encargado de la amplificación con conexión a las galgas extensiométricas. |

2.10 Preparación del material

El contenido debe estar listo en todo momento. El objetivo es producir una superficie desprovista de contaminantes u otras impurezas, tanto químicas como físicas. En este proceso se emplean diversos materiales:

- Lija: Reduce los defectos de la superficie al tiempo que amplía el área de contacto y aumenta la adherencia. Dependiendo del material, por ejemplo, se recomienda la lija n° 180 para el acero y la n° 360 para el aluminio.
- Acetona: Esta sustancia se utiliza para eliminar el aceite o la grasa de la superficie de adhesión.
- Neutralizador: En caso de suciedad o contaminación química, este compuesto químico se utiliza para limpiar la superficie de instalación. sucia.

2.11 Pegado de las Galgas extensiométricas

Para evitar la contaminación, ya se ha preparado la superficie donde se aplicará la galga.

Se aplica, por ejemplo:

- Pinzas: Se utilizan para que las galgas no entren en contacto con el entorno y evitar la contaminación.
- Cinta adhesiva: Dado que se utilizará para localizar con precisión el calibrador, debe ser transparente.
- Adhesivo: Pegamento específico para galgas extensométricas.

2.12 Soldado de terminales de Galgas extensiométricas

Se trata de un paso crucial porque, para evitar que se quemen los filamentos, hay que soldarles los cables con sumo cuidado. Los suministros necesarios son:

- Terminales para galgas: Sirven de soporte para soldar los filamentos a los hilos adecuados para el tratamiento.
- Cautín: Esta herramienta se utiliza para unir los filamentos de la galga con los hilos que atravesarán el puente de Wheatstone; es necesario que tenga la punta plana y que no toque el terminal más de un segundo.
- Estaño: Material de aportación utilizado en la soldadura
- Cable: Se aconseja AWG #20 a #28 cuando se utiliza alambre para conectar al puente de Wheatstone.

2.13 Protecciones de las Galgas extensiométricas

Esto completa el proceso de instalación. Se trata de proteger el manómetro que ya está conectado al sistema de influencias externas, como polvo, grasa u otros materiales que podrían alterar las lecturas. La sustancia utilizada, por ejemplo:

- Barniz de recubrimiento: Es necesario asegurar toda la instalación. La aplicación y el entorno en el que se utiliza el sensor determinan el tipo y el método de barnizado. Para la protección mecánica y contra la humedad, respectivamente, puede ser necesario un recubrimiento de silicona o cera, además del barniz protector estándar. Un ejemplo se muestra en la **Figura 56**.



Figura 56. Barniz de recubrimiento[10]

El puente de Wheatstone es un dispositivo electrónico que mide variaciones mínimas en voltios o milivoltios debido a la forma en que están dispuestas sus resistencias. Esto es necesario para detectar incluso las variaciones de tensión más pequeñas, que deben amplificarse para obtener datos más precisos y reales. Cuando el medidor no muestra ninguna variación, el diseño está equilibrado. La tensión medida varía en proporción a la deformación de la galga.

2.14 Preparación del material

Debe realizarse una pasada de desbaste como parte del procedimiento de preparación del material para garantizar que el material sea uniforme antes de la prueba. Como se muestra en la **Figura 57**, con el antes y el después del proceso.



Figura 57. Material antes y después de la preparación

SISTEMA ELÉCTRICO

Esta sección nos ofrece el armado del circuito donde se hace uso del puente de Wheatstone, componentes y el proceso Microsoft data Streamer.

2.15.1 Arduino UNO R3

De acuerdo con Becerra [1], el modelo de Arduino más disponible es éste. Utiliza un microcontrolador ATmega 328, pero se conecta y transmite datos por USB utilizando un ATmega16U2, que tiene más memoria y velocidades de transferencia más rápidas. En Linux o Mac, no es necesario instalar controladores externos; sin embargo, Windows requiere el archivo inf que viene con el IDE de Arduino. En este modelo se añaden los pines SDA y SCL para la comunicación I2C. El escudo se puede ajustar para adaptarse a otra placa que sea compatible gracias a su IOREF. Tiene las características que se indican en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Características del Arduino R3[1]

| Característica | Descripción |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Entradas y salidas digital | 14 entradas/salidas digitales, dentro de las cuales 6 pueden ser usadas como PWM) |
| Entradas analógicas | 6 entradas analógicas |
| Oscilador | Cristal oscilador de 16MHz |
| Corriente | 5V – 40 mA 3V – 50 mA |
| Memoria Flash | 32 KB |
| EEPROM | 1 KB |
| Conexión | USB |
| Alimentación de entrada | 7-12 V |

Hay dos formas de alimentar un Arduino: o bien con una toma USB de 5V o bien con una conexión USB conectada directamente a un ordenador. Otra forma es alimentarlo mediante una batería o una fuente externa. Para conectarlo se utiliza un conector macho de 2,1 mm con el centro positivo en la placa. Además, se pueden conectar cables externos a los pines GND y VIN de la placa.

Los pines de la fuente de alimentación, como la salida de 5V, pueden proporcionar menos del valor indicado y volverse inestables en sus valores si la tensión es inferior a 7V. La placa funciona en un rango de tensión de 6 a 20 voltios. Por otro lado, si la placa Arduino se utiliza con un voltaje superior a 12V, los reguladores internos podrían sobrecalentarse y causar daños.

Los pines 0 (RX) y 1 (TX) se utilizan frecuentemente en la comunicación serie para transmitir datos a través del puerto serie TTL. Además, dispone de interrupciones externas en los Pines 2 y 3, que pueden configurarse para estar ALTO en 5V o BAJO en 0V dependiendo de la situación. La **Figura 58** muestra un Arduino UNO R3.



Figura 58. Arduino UNO R3[36]

2.15.2 Amplificador de Módulo HX711

Naylamps Mechatronics [37] explica que este módulo funciona como transmisor entre las células de carga y un microcontrolador, lo que permite leer el peso en la galga extensométrica o en la célula de carga de forma sencilla. Se utiliza ampliamente en procesos industriales, sistemas de medición automatizados y el sector médico. La electrónica de acondicionamiento, la conversión A/D y el convertidor ADC de 24 bits incorporados en este amplificador le permiten leer el puente de Wheatstone que forma la célula de carga. El microcontrolador se conecta al ordenador a través de una interfaz serie de 2 pines que se asemeja a I2C. En la **Figura 59**.

A través de SCK (Serial Clock Data) y DT (Data), dos pines de conexión serie, se comunica con el microcontrolador elegido. Por pequeños que sean los cambios en la resistencia de la célula de carga, el circuito amplificador facilita su lectura, pudiéndose realizar mediciones muy precisas en función de la calibración de los datos. En la **Tabla 24** se enumeran sus características. Se ha desarrollado mucha información para su uso dentro de las librerías de Arduino, haciendo que el procesamiento de datos sea sencillo con la ayuda de las librerías.

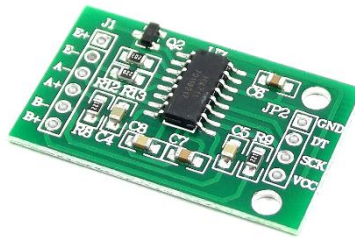


Figura 59. Módulo amplificador HX711 [37].

Su conexión, se detalla:

- GND = Ground o tierra de microcontrolador
- DT= Serial Data
- SCK= Serial Clock
- VCC= Alimentación 5V

Tabla 24. Características del Módulo HX711[37]

| Característica | Descripción |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Voltaje de operación | 2.7 V – 5 V |
| Corriente de operación | <1,5 mA |
| Velocidad de transmisión de datos | 10SPS u 80SPS |
| Frecuencia | Simultánea 50Hz y suministro de rechazo en 60 Hz |

2.15.3 Conexión de galgas extensiométricas

Las galgas extensométricas del soporte de inserción deben conectarse de acuerdo con el esquema de conexiones anterior. Para facilitar la conexión de las células de carga, los cables deben conectarse utilizando el color sugerido para las células de carga. Las conexiones correspondientes se representan en la **Figura 60** se muestra sus respectivas conexiones.

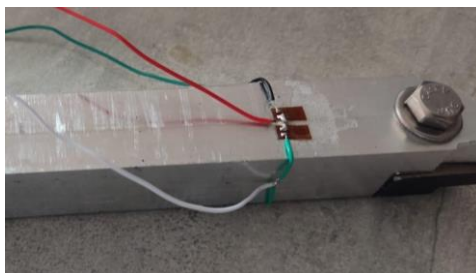


Figura 60. Conexiones galgas extensiométricas

2.15.4 Módulo Amplificador HX711

El módulo Amplificador HX711 consta de 2 salidas de conectores, apreciables en la **Figura 61**.

En el conector JP2 se encuentra los pines GND, DT, SCK y VCC conectados de acuerdo con la **Tabla 25**:

Tabla 25. Conexión HX711 y Arduino[19]

| Pin HX711 | Arduino |
|------------------|----------------|
| Pin GND | Pin GND |
| Pin DT | Pin 3,4 |
| Pin SCK | Pin 2,5 |
| Pin VCC | Pin 5V |

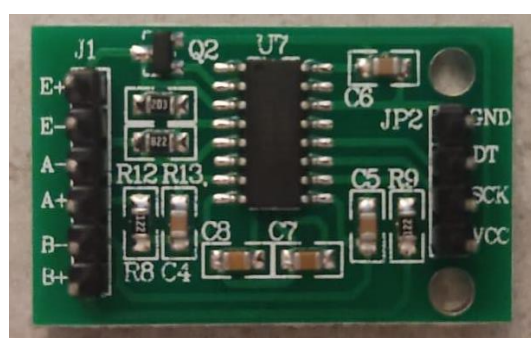


Figura 61. Módulo HXT 711

La celda de carga consta de 4 cables principalmente, los cuales se distinguen por colores, por ejemplo: Rojo, negro, verde y blanco. Los cuales deben ser conectados como se muestra en la **Tabla 26**:

Tabla 26. Conexión Celda de carga y HX711[19]

| Color de cable | Pin HX711 |
|----------------|-----------|
| Rojo | Pin E+ |
| Negro | Pin E- |
| Verde | Pin A- |
| Blanco | Pin A+ |

2.15.5 Galga extensiométrica uniaxial

Debido a su composición, que la hace casi insensible a una deformación transversal, este tipo de galga extensométrica mide la deformación sufrida por la misma en la dirección de los hilos con los que está formada. En consecuencia, su uso en el presente proyecto para medir las deformaciones en una sola dirección, como se muestra en la **Figura 62**.

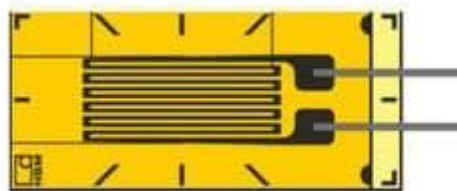


Figura 62. Galga extensiométrica uniaxial[8]

2.15.6 Selección de la Galga Por Utilizar

Como se indica en el **Tabla 27**, se realiza una búsqueda en el mercado nacional utilizando diversos catálogos para seleccionar la serie adecuada de galgas extensométricas, teniendo en cuenta la resistencia nominal, la temperatura de trabajo y el material al que se adherirá.

Tabla 27. Especificación del tipo de galga extensiométrica a utilizar[38]

| BF350 – 3AA 80 (23) M6 - X | |
|-----------------------------------|------------------|
| Especificaciones | BF Series |
| Resistencia Nominal | 350 - 650 - 1000 |
| Tolerancia de Resistencia | <± 0.1 % |
| Factor de Calibre | 2.00 ~ 2.20 |
| Factor de Calibre Resistencia | <± 1 % |
| Límite de Deformación | 2.0 % |
| Vida de Fatiga | >10 ⁷ |
| Compensación del Módulo Efectivo | Aluminio (23) |
| Lamina Metálica | Constantán Alloy |
| Compensación de Fluencia | Disponible |
| Rango de Temperatura de Trabajo | -30 ~ + 80 °C |
| Compensación de Temperatura | Aluminio (23) |
| Temperatura de Curado | 135 °C |
| Adhesivos de Unión | H - 610 |

2.15.7 Puente de Wheatstone

La **Figura 63**, muestra la configuración del Puente de Wheatstone antes de su fabricación.

Se creó en Proteus para poder comprobarla antes de su construcción.

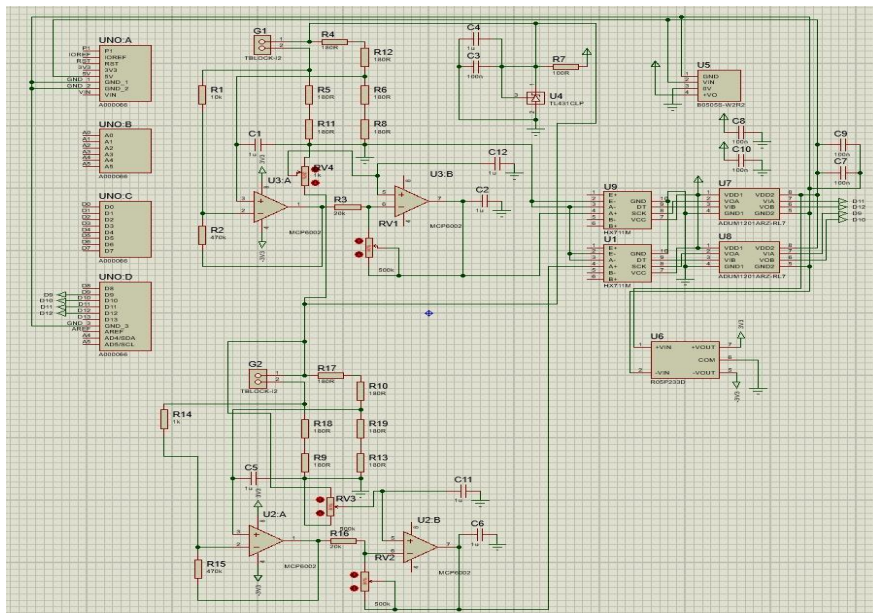


Figura 63. Diseño de circuito en Proteus

Avanzamos con la fabricación de su placa PCB, que también fue diseñada en Proteus para su realización, utilizando el esquema sugerido. El esquema se muestra en la **Figura 64**.

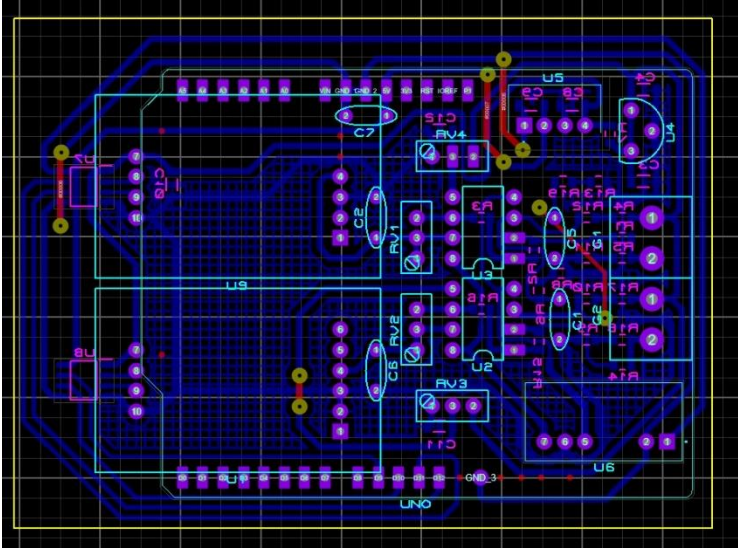


Figura 64. Diseño de PCB en Proteus

Continuamos con la fabricación de la PCB utilizando estos renders anteriores y el diseño autorizado. La vista isométrica del circuito implementado de la célula de carga se muestra en la **Figura 65**.

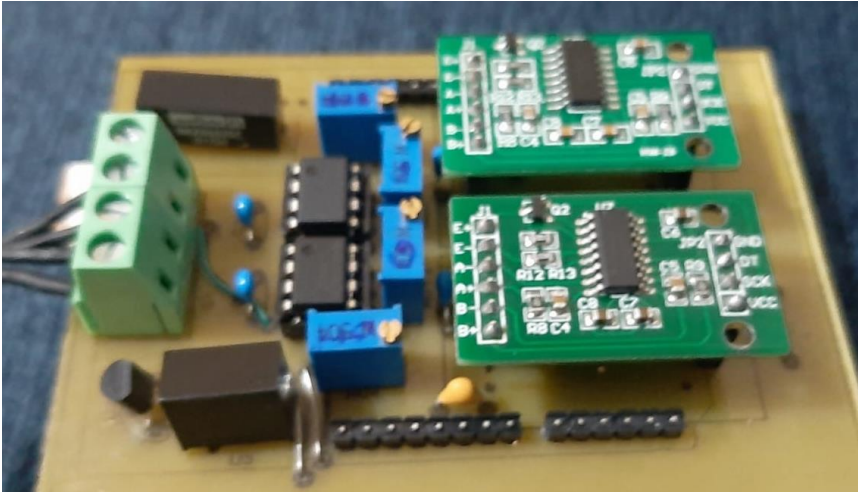


Figura 65. Vista isométrica PCB

De igual manera en la **Figura 66**, se tiene las pistas con las cuales fue realizado el diseño y la fabricación del circuito.

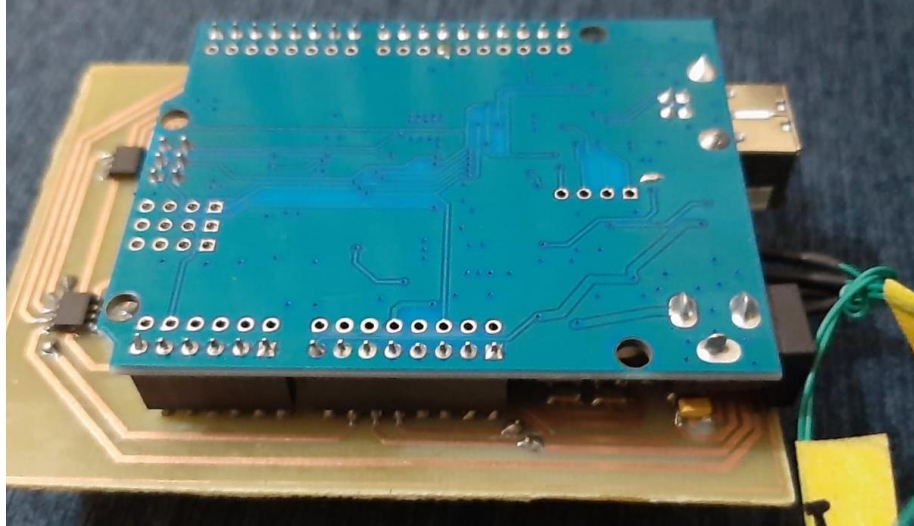


Figura 66. Vista inferior PCB

2.15.8 Fuente de energía

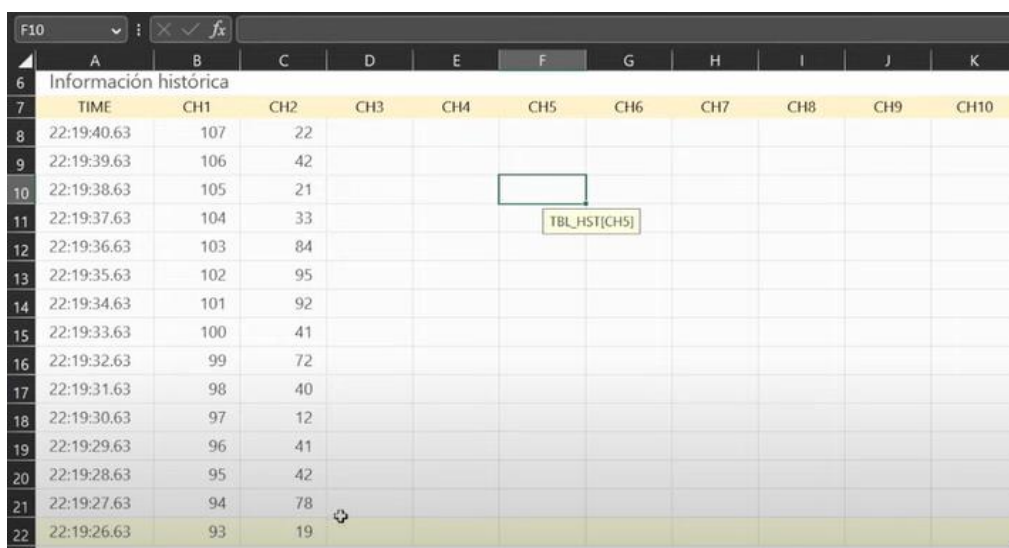
Se utiliza una fuente de tensión con una salida de 5 V, ya que los datos se recogerán en el mismo torno. Dependiendo del consumo del circuito, esta fuente puede manejar corrientes entre uno y tres amperios. Se conectará a la placa Arduino R3 que, como se puede ver en la **Figura 67** de componentes de la placa electrónica, ya dispone de un puerto de conexión.



Figura 67. Alimentación al Arduino por medio de un Computador [39].

2.16 Microsoft Excel

La mención Excel para Todos [40], es una hoja de cálculo que te permite trabajar con datos de texto o numéricos en tablas que se crean primero uniendo filas y columnas en la misma aplicación. Excel es una herramienta que puedes utilizar para muchas tareas, como organizar datos, realizar cálculos aritméticos y aplicar funciones más sofisticadas, todo ello gracias a diversos avances a lo largo del tiempo. La **Figura 68** muestra su interfaz de trabajo.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 6 | Información histórica | | | | | | | | | | |
| 7 | TIME | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 |
| 8 | 22:19:40.63 | 107 | 22 | | | | | | | | |
| 9 | 22:19:39.63 | 106 | 42 | | | | | | | | |
| 10 | 22:19:38.63 | 105 | 21 | | | | | | | | |
| 11 | 22:19:37.63 | 104 | 33 | | | | | | | | |
| 12 | 22:19:36.63 | 103 | 84 | | | | | | | | |
| 13 | 22:19:35.63 | 102 | 95 | | | | | | | | |
| 14 | 22:19:34.63 | 101 | 92 | | | | | | | | |
| 15 | 22:19:33.63 | 100 | 41 | | | | | | | | |
| 16 | 22:19:32.63 | 99 | 72 | | | | | | | | |
| 17 | 22:19:31.63 | 98 | 40 | | | | | | | | |
| 18 | 22:19:30.63 | 97 | 12 | | | | | | | | |
| 19 | 22:19:29.63 | 96 | 41 | | | | | | | | |
| 20 | 22:19:28.63 | 95 | 42 | | | | | | | | |
| 21 | 22:19:27.63 | 94 | 78 | | | | | | | | |
| 22 | 22:19:26.63 | 93 | 19 | | | | | | | | |

Figura 68. Interfaz Excel.[41]

2.16.1 Microsoft Data Streamer

Menciona su página oficial Microsoft [25] que es un complemento para Microsoft Excel que permite a los usuarios enviar a las hojas de cálculo datos de baja latencia procedentes de dispositivos y aplicaciones conectados al programa. Funciona con diversos dispositivos, como MXChip Azure, Arduino y placas relacionadas, Micro bit y otros.

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN

El propósito de este capítulo es obtener la recopilación de procesos para el funcionamiento y armado del prototipo, cumpliendo con los objetivos planteados.

3.1 Implementación Mecánica

Terminado el proceso de manufactura de cada una de las partes requeridas, se procede a realizar el ensamble. Se toma la parte recortada previamente del portainsero SDJCR2020-K11 y se realiza la sujeción por la parte inferior a la barra fabricada de aluminio 7075T6 con un perno M8, también se coloca el inserto DCMT-11T304 en el lugar correspondiente.

Se coloca la barra porta inserto dentro del portaherramientas manufacturado, verificando que las distancias entre la punta del inserto y la primera arista del portaherramientas sean correspondientes a las simulaciones realizadas en el software SolidWorks, para asegurar la barra se coloca una placa de acero 1045, sujeta por seis pernos M8 con sus respectivas arandelas.

Dentro del torno CNC Emcomat E-200 se procede a ubicar el dispositivo en el portaherramientas, se realiza la sujeción respectiva asegurando que el dispositivo no pueda generar accidentes, así tampoco generar errores en la adquisición de datos.

Por último, se coloca un eje de acero 1045, el cual es el material en el que se realizarán las pruebas para verificar el funcionamiento, se procede a configurar profundidad de corte, revoluciones del husillo y fuerza de avance.

3.2 Implementación Eléctrica

Concluida la parte del diseño del circuito en el software Proteus y pruebas físicas realizadas en un Protoboard, para asegurar la integridad de cada componente electrónico y verificar que las señales emitidas no se vean perturbadas por ruido electrónico causado por las frecuencias expuestas debido a la fuente de voltaje que en este caso llega a ser el computador, se procede a realizar el proceso de soldar cada componente en la placa PCB diseñada.

Para la instalación de las galgas extensiométricas en el aluminio 7075T6 se procede a lijar y limpiar el material dejando una superficie uniforme y lisa, se coloca el pegamento Loctite 496 en la barra y con ayuda de unas pinzas se procede a colocar la galga de forma que se posicione perpendicular a la fuerza que será aplicada.

Se procede a soldar cables flexibles pero resistentes a las galgas extensiométricas y del otro lado ajustar en las borneras de la placa para la recolección de datos, dentro de la placa PCB se encuentran los pines para adecuar al Arduino y que el dispositivo sea más compacto, se instaló un convertidor DC/DC con una entrada de 5V(in) y 5V (out) funciona como un aislador de ruido generado por el computador, pasando por este la energía de alimentación y dando salida de los mismo 5V al Arduino, con esto se elimina parcialmente las perturbaciones en las lecturas de la galga, así también se acopló dos módulos HX711 que sirven como amplificadores de señal y estos reciben la medición de los puentes de Wheatstone que funcionan como divisores de voltaje dentro de la placa y también disminuir el ruido, restando el ruido del punto A con el del punto B. Como última instancia para la eliminación de perturbaciones se usa un convertidor AM1210 que posee una entrada Clock y Delay y esta es enviada al Arduino, para el ruido mecánico provocado por las vibraciones se genera un filtro de Kalman en la programación.

3.3 Implementación Control de Datos

Una vez realizada la programación en Arduino y subido el programa al Microcontrolador, se procede a obtener los datos mediante el uso de Microsoft Excel en tiempo real.

Primero, es necesario activar un componente que se encuentra en el mismo programa Microsoft Excel. Éste se llama Microsoft Data Streamer, con el cual se adquieren los datos en tiempo real mediante un puerto COM. Su pestaña de activación se encuentra en la **Figura 69**.

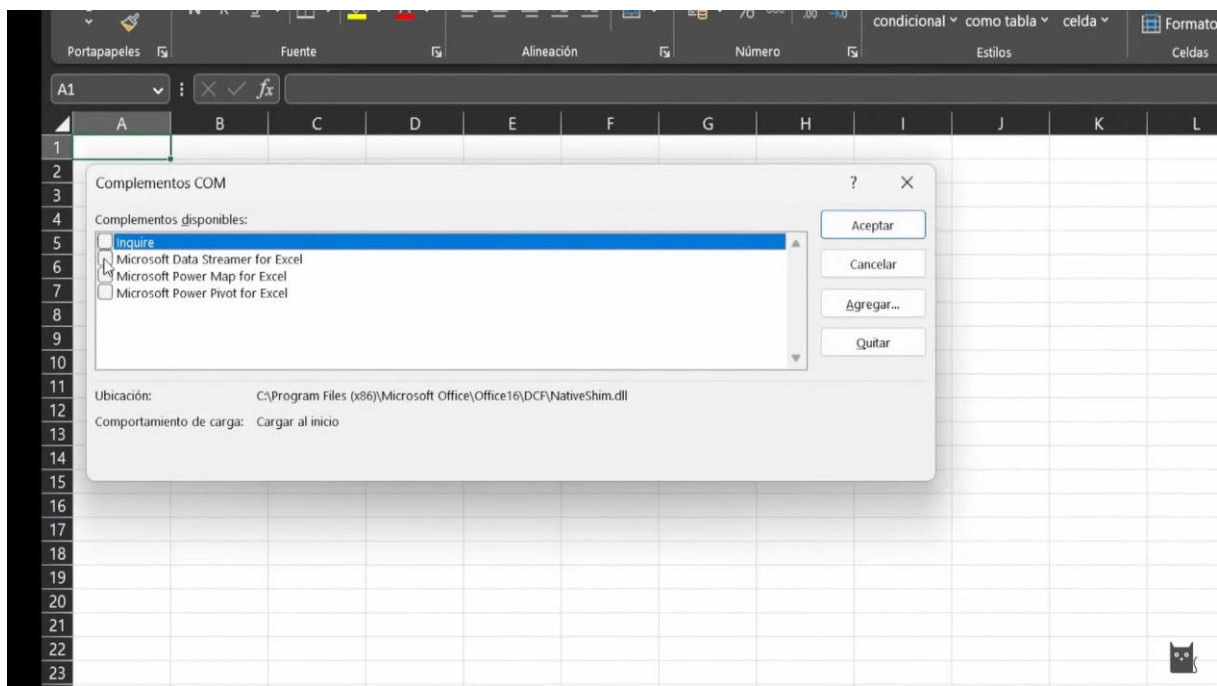


Figura 69. Activación de complemento Microsoft Data Streamer[41]

Con la pestaña de transmisor de datos se tienen varias opciones, y esta servirá de guía en el proceso de adquisición de datos. Al ser un dispositivo externo se tiene que conectar mediante puertos COM, en este ejemplo, el Arduino UNO R3 se encuentra conectado al Puerto COM 5, se indica en la **Figura 70**.

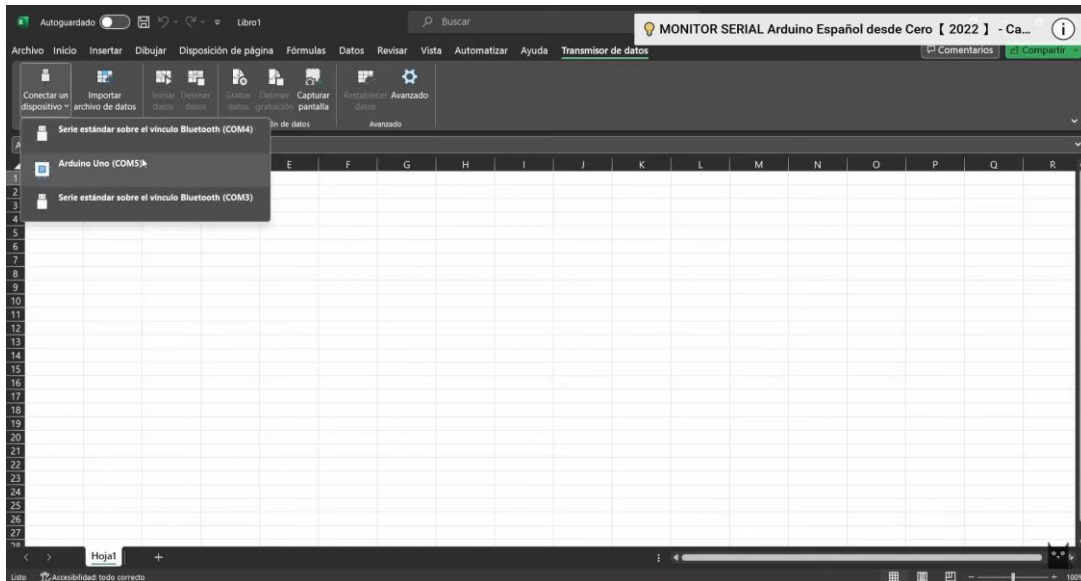


Figura 70. Conexión de dispositivo COM a Microsoft Data Streamer[41]

Con el dispositivo conectado a la computadora y a Microsoft Excel, se desplegó automáticamente la interfaz como en la **Figura 71**, en la cual se observa los valores de cada dato enviado y la hora en la que fue adquirido el mismo.

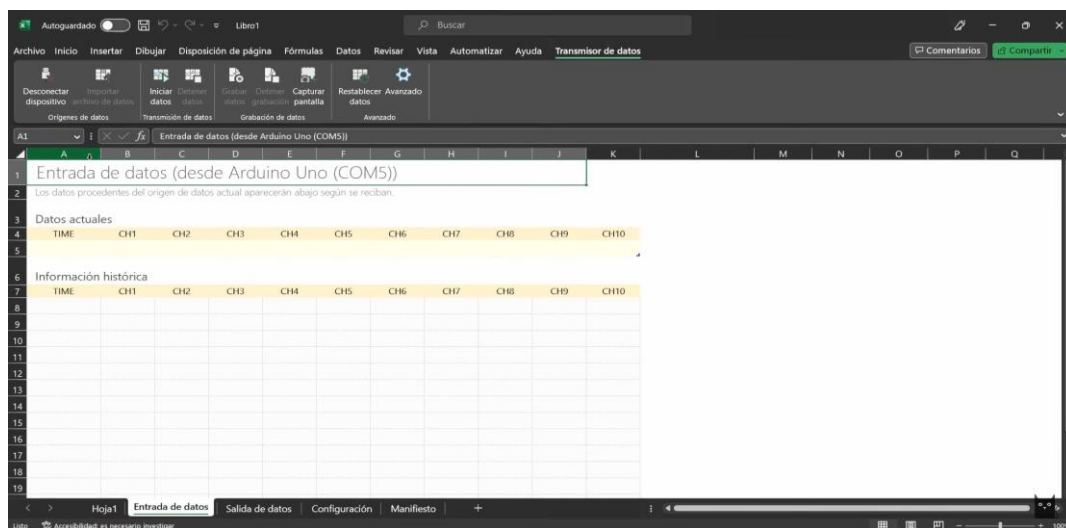


Figura 71. Adquisición de datos en Puerto COM 5[41]

Para comenzar con la transmisión de datos, es relativamente fácil, ya que solo se debe dar clic en “Iniciar transmisión de datos” y la adquisición de datos se hará de forma automáticamente. La ubicación del botón para transmitir datos se puede evidenciar en la **Figura 72**.

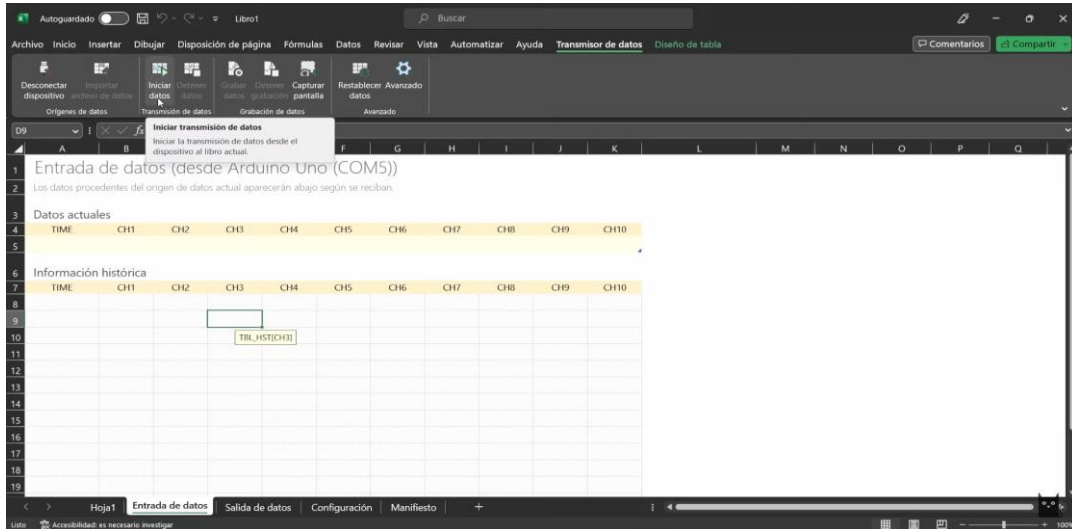


Figura 72. Botón para iniciar la adquisición de datos en Puerto COM 5[41]

Estos datos adquiridos se irán almacenando en la hoja de Excel como en la **Figura 73**.

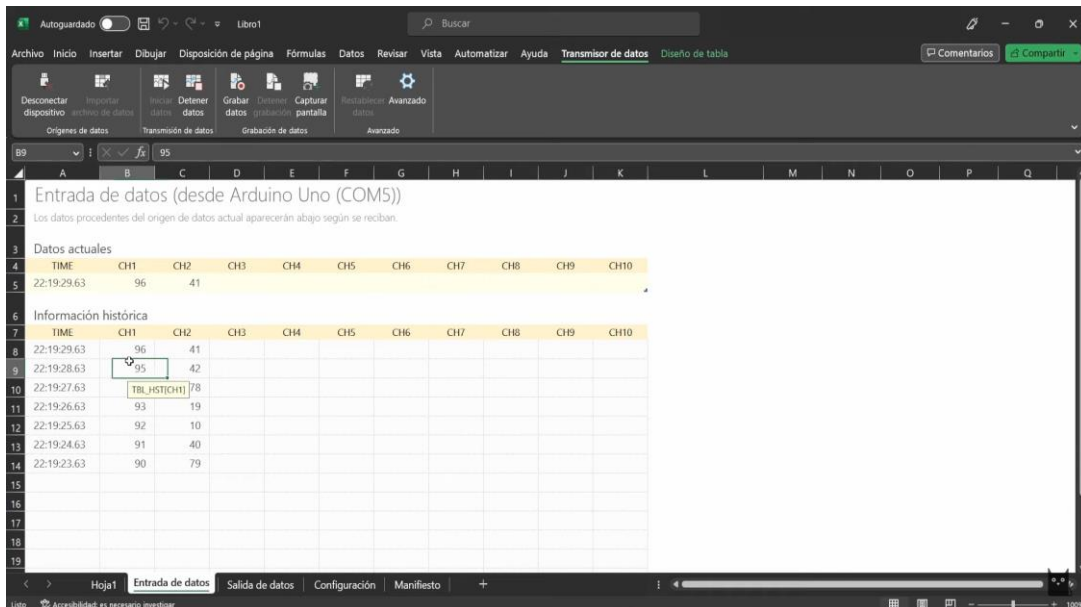


Figura 73. Adquisición de datos en Puerto COM 5[41]

Para detener la adquisición de datos, de igual manera se tiene un botón que al presionar se muestra en la **Figura 74**.



Figura 74. Botón para detener adquisición de datos[41]

Además, se puede configurar la hoja de trabajo de Excel de acuerdo con las necesidades del usuario, como se muestra en la **Figura 75**.

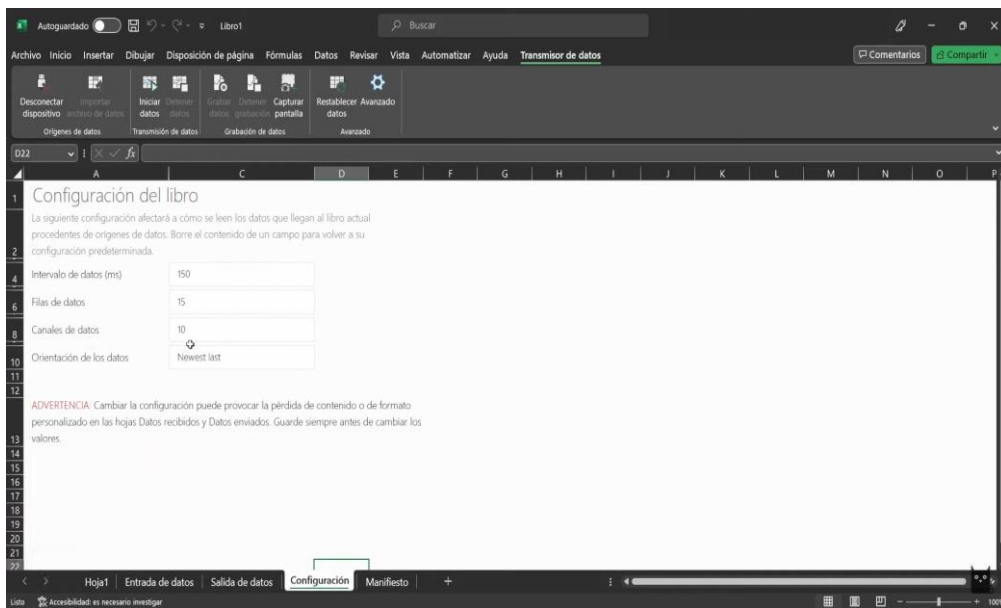


Figura 75. Configuración del libro de Excel[41]

Existe configuraciones avanzadas como los puertos, velocidad de transmisión de datos, entre otros que se muestra en la **Figura 76**.

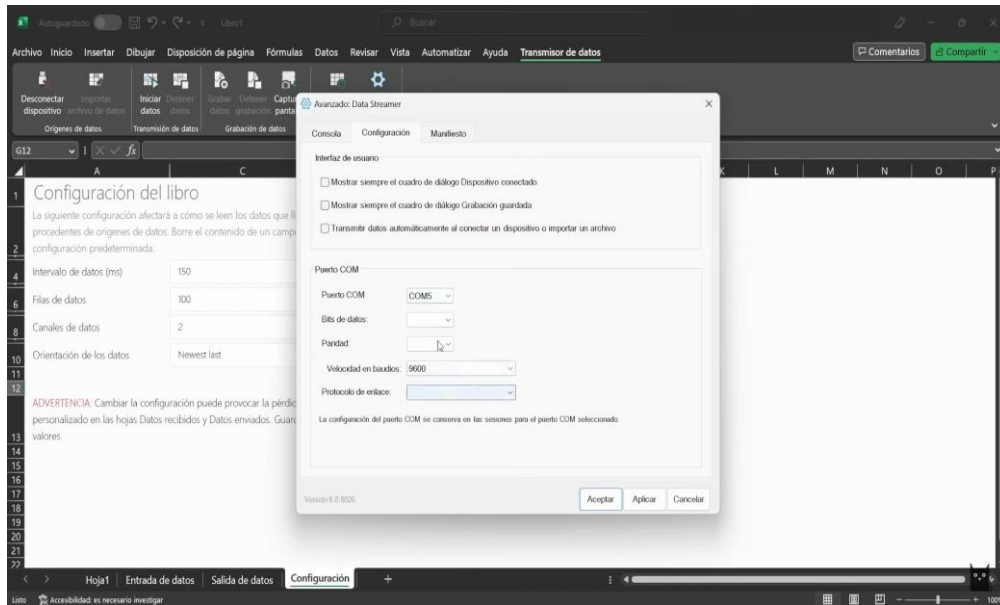


Figura 76. Configuración avanzada de Microsoft Data Streamer[41]

Una utilidad de este es que al momento de utilizar en Excel estos datos, también se puede graficar el mismo de acuerdo con las necesidades, como por ejemplo en la **Figura 77**.

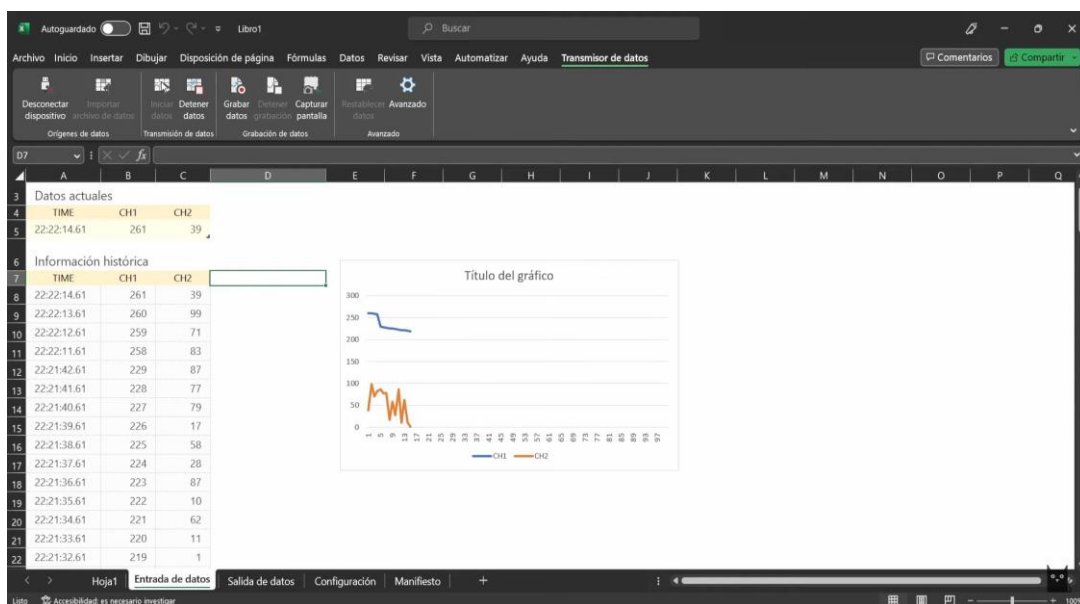


Figura 77. Gráficos en tiempo real de la adquisición de datos[41]

3.4 Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento

En la **Figura 78**, se aprecia un diagrama de flujo en el que se explica el procedimiento a usar del prototipo y sus pasos a seguir empezando desde la calibración hasta la medición.

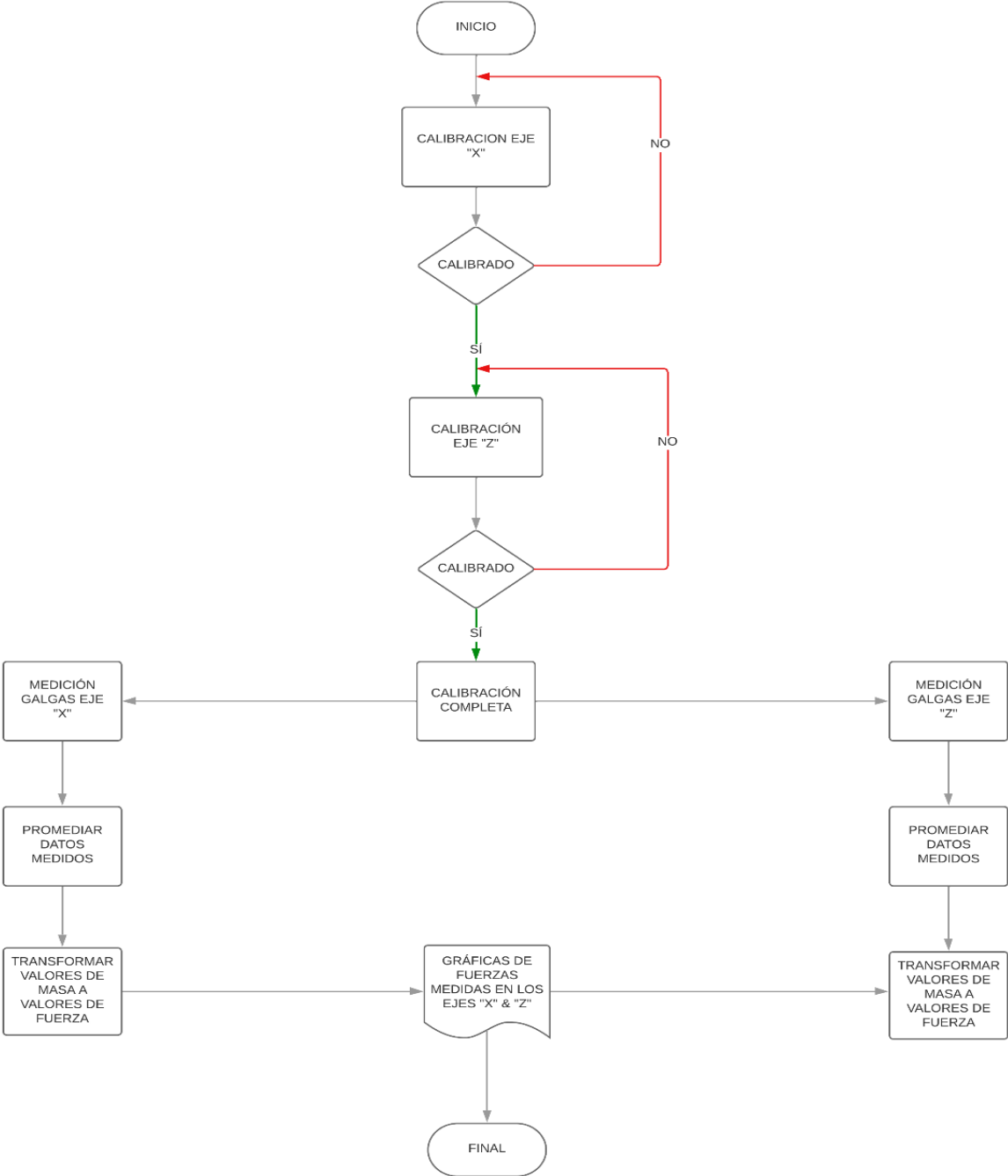


Figura 78. Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento

CAPÍTULO 4

PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo incluye las pruebas y los resultados obtenidos para garantizar que el prototipo funciona correctamente y cumple las especificaciones del diseño.

4.1 Prueba 1

En la se muestra la prueba de medición con una profundidad de 0.25 mm, donde se utilizó una velocidad de corte de 150 [m/min].

Tabla 28. Resultados obtenidos de prueba 1

| Avance [mm/rev] | Fuerza teórica [N] | Fuerza experimental [N] |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| 0.1 | Fc = 45.2 | Fc=46,37 |
| | Ft = 64.35 | Ft=59,67 |
| 0.15 | Fc = 68.25 | Fc=66,56 |
| | Ft = 87.22 | Ft=90,19 |
| 0.2 | Fc = 91 | Fc=88,13 |
| | Ft = 108.22 | Ft=104,53 |

4.2 Prueba 2

En la se muestra la prueba de medición con una profundidad de 0.5 mm, donde se utilizó una velocidad de corte de 150 [m/min].

Tabla 29. Resultados obtenidos de prueba 2

| Avance [mm/rev] | Fuerza teórica [N] | Fuerza experimental [N] |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| 0.1 | Fc = 91 | Fc=87,87 |
| | Ft = 128.69 | Ft=135,64 |
| 0.15 | Fc = 136.5 | Fc=130,06 |
| | Ft = 174.43 | Ft=169,08 |
| 0.2 | Fc = 182 | Fc=189,50 |
| | Ft = 216.44 | Ft=221,76 |

4.3 Prueba 3

En la se muestra la prueba de medición con una profundidad de 0.75 mm, donde se utilizó una velocidad de corte de 150 [m/min].

Tabla 30. Resultados obtenidos de prueba 3

| Avance [mm/rev] | Fuerza teórica [N] | Fuerza experimental [N] |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| 0.1 | Fc = 136.5 | Fc=142,67 |
| | Ft = 193.04 | Ft=186,48 |
| 0.15 | Fc = 204.75 | Fc=217,51 |
| | Ft = 261.65 | Ft=273,37 |
| 0.2 | Fc = 273 | Fc=261 |
| | Ft = 324.65 | Ft=329 |

4.4 Error Porcentual

Al finalizar las respectivas pruebas, con la variación de parámetros, se procede a realizar el cálculo del error porcentual total de todos los resultados obtenidos.

$$e\% = \left| \frac{V_{teórico} - V_{experimental}}{V_{teórico}} \right| * 100$$

Se aplica la ecuación para cada fuerza de corte y fuerza tangencial, para obtener el error de cada medición y a continuación realizamos un promedio de todos los errores para hallar la efectividad del dispositivo.

$$e_{promedio} = \frac{\sum e\%}{18}$$

$$e_{promedio} = 3.84\%$$

Una vez obtenido el error porcentual, se comprueba que el dispositivo cumple con su finalidad, debido al bajo porcentaje de error en las mediciones, acercándose a los resultados teóricos calculados anteriormente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Tras la finalización del prototipo de lectura de fuerzas ortogonales y la verificación de los datos, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Una vez comprendido el funcionamiento de las galgas extensiométricas, se observó que todos los factores externos que influyen en las perturbaciones de las lecturas de resultados, que son tanto mecánicas como electrónicas, así encontrando la solución con diferentes componentes electrónicos como convertidores DC/DC y también aplicando un filtro de Kalman dentro de la programación del dispositivo para limpiar la señal que se ve afectada por el ruido del torno Emcomat E-200 generado por el motor.
- A pesar de que se ha eliminado las perturbaciones en las lecturas del dispositivo en su mayoría, es necesario esperar entre unos 4 a 5 minutos después de conectar el Arduino al computador para que la señal se estabilice y no existan falsas lecturas.
- Con los cálculos realizados teóricamente con un avance de 0.3 mm/rev y una profundidad de 1.5 mm se obtiene que el esfuerzo máximo generado será de 34,32 MPa, por lo cual el portainsero fabricado de aluminio 7075T6 tiene un módulo elástico de 72000 MPa como se observa en la tabla 15, por lo cual durante los ensayos no se excederá el límite elástico, manteniendo así la forma de origen y sin riesgos a la deformación permanente o ruptura.
- Con los resultados obtenidos por el dispositivo, se realiza la comparación con los resultados teóricos calculados previamente, con esto se observa que el dispositivo presenta un error en las lecturas del 3,84 %, dando como resultado una efectividad del 96,16 % en los resultados obtenidos.

Recomendaciones

Se debe tomar en cuenta todas las frecuencias transmitidas por la fuente de voltaje, así también por algunos factores mecánicos como las vibraciones del motor, que producen perturbaciones en las lecturas dando como resultado una señal muy irregular con varios picos, sin permitir una apreciación de lectura correcta, esto se puede lograr con convertidores DC/DC, un convertidor AM120, que permiten aislar la fuente de voltaje y el puente de Wheatstone, dando como resultado una señal mucho más limpia para la lectura de las fuerzas.

Es recomendable revisar los catálogos tanto de la herramienta de corte, como del material a mecanizar para utilizar los parámetros correctos, de esta manera no arriesgamos la integridad física humana y así tampoco de cada componente mecánico y electrónico utilizado para la construcción de este dispositivo.

La manipulación de las galgas extensiométricas antes, durante y después de la instalación debe ser mínima debido a su fragilidad, ya que se pueden romper o quemar dejando así el sensor inutilizable para la medición y se deberá realizar un cambio de galga extensiométrica.

Para la elección del tipo de galga extensiométrica, depende del material en el que se vaya a utilizar, los rangos de temperatura en los que llega a trabajar de manera correcta, la resistencia que posee y el voltaje al que trabaja como en la **Tabla 27**.

REFERENCIAS

- [1] H. Becerra, “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MEDIR LA FUERZA DE CORTE EN EL ACERO SAE 1020 UTILIZANDO GALGAS EXTENSOMETRICAS”, 2017.
- [2] F. E. Garcia Mendoza, “Diseño de un dinamometro para medir la fuerza de corte y fuerza de avance en el torno”, 2019.
- [3] C. Nieto, “DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA MEDIR LA FUERZA DE CORTE EN EL TORNEADO DEL ACERO INOX 304”, *Repositorio*, pp. 1–88, 2018.
- [4] Jairo Alexis Rivas Díaz, “¿CUAL ES EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE CORTE, VELOCIDAD DE AVANCE Y LA PROFUNDIDAD DE CORTE SOBRE LA RUGOSIDAD Y FUERZA DE CORTE PARA EL MECANIZADO DEL BRONCE SAE 62?”
- [5] P. E. Salinas Aguirre, “Diseño de un dinamómetro para medir la fuerza de corte en el acero sae 1020 utilizando galgas extensometricas”, 2018.
- [6] I. D. Rengifo Maurtua, “Fabricación de un dinametro (LMS) para medir la fuerza de corte y fuerza de avance en el torno”, 2022.
- [7] “Strain Gauges First choice for strain measurements”.
- [8] HBM, “Galga extensiométrica resistiva”, Direct Industry. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/hbm-test-and-measurement/product-6017-614644.html>
- [9] E. J. Alzate, J. W. Montes Ocampo, y C. A. Silva Ortega, “MEDIDORES DE DEFORMACION POR RESISTENCIA: GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS”, *Scientia Et Technica*, vol. XIII, pp. 7–12, 2007.

- [10] P. X. Idrovo, U. Luis, y M. Q. Molina, “Sistemas de Medición Principios y Aplicaciones.”
- [11] J. Bentley, “Principles of Measurement Systems”. [En línea]. Disponible en: www.pearsoned.co.uk
- [12] A. Sving, “Investigation of High-Temperature Sensors for Tube Monitoring Applications”. [En línea]. Disponible en: <http://www.teknat.uu.se/student>
- [13] C. Domínguez y J. Tierra, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRÁCTICAS DE EXTENSOMETRÍA”.
- [14] V. Ciscar, “Galgas Extensiométricas”.
- [15] “Celulas de carga para la industria | Puchades Gimeno”. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.puchadesgimeno.com/celulas-carga/>
- [16] J. I. Orellana y H. D. Salazar, “MEDICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN BARRAS METÁLICAS UTILIZANDO GALGAS EXTENSIOMETRICAS”.
- [17] “PUENTE DE WHEATSTONE | INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA I”. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bloginstrukarime.wordpress.com/2013/04/09/puente-de-wheatstone/>
- [18] J. Mayné, “Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal”.
- [19] “MÓDULO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN”, Naylamp Mechatronics. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/drivers/633-modulo-ad620-amplificador-de-instrumentacion.html>

- [20] “Torno CNC Emcomat E-200 MC”, Direct Industry. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/emco-gmbh/product-7241-873731.html>
- [21] “EMCOMAT E-200 Zyklus-Torno Manual de instrucciones EMCOMAT E-200”, 2010.
- [22] H. Rodríguez, “Fundamentos de los Procesos de Mecanizado”, Ingemecánica. Consultado: el 11 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>
- [23] W. Song *et al.*, “Accurate Cutting-Force Measurement with Smart Tool Holder in Lathe”, *Sensors*, vol. 23, núm. 9, may 2023, doi: 10.3390/s23094419.
- [24] M. Rizal, J. A. Ghani, y A. Z. Mubarak, “Design and Development of a Tri-Axial Turning Dynamometer Utilizing Cross-Beam Type Force Transducer for Fine-Turning Cutting Force Measurement”, *Sensors*, vol. 22, núm. 22, nov. 2022, doi: 10.3390/s22228751.
- [25] Remirez P, “DISEÑO DE UN DINAMÓMETRO MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS”.
- [26] “Galgas extensiométricas: conocimientos básicos. – La Factoría de Tesla”. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://lafactoriadetesla.wordpress.com/2019/05/14/galgas-extensiometricas-conocimientos-basicos/>
- [27] K. Osička, J. Zouhar, P. Sliwková, y J. Chladil, “Cutting Force When Machining Hardened Steel and the Surface Roughness Achieved”, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, núm. 22, nov. 2022, doi: 10.3390/app122211526.

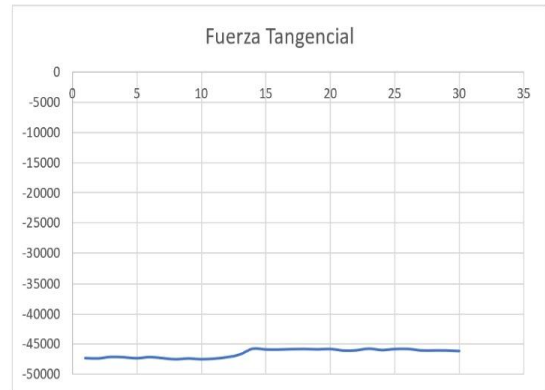
- [28] “Nomenclatura insertos de corte | De Máquinas y Herramientas”. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/nomenclatura-discos-de-corte>
- [29] U. Empresa De Thyssenkrupp, S. Tk, y T. Acero, “Thyssen ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A. Catálogo Comercial AISI 304/AISI 304L página 1 de 5 TK Composición Química (Valores Promedio, %)”.
- [30] “ALUMINIO ALEACIÓN 7075 – T6”. Consultado: el 10 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.acerosepc.com/aluminio-aleacion-7075-t6/>
- [31] “Catálogo Comercial PRODAX SPANSK 0806 | PDF | Aluminio | perforador”. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/405630012/Catalogo-comercial-PRODAX-SPANSK-0806>
- [32] “Materiales de la herramienta de corte”.
- [33] R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición”.
- [34] “INFORMACION-TECNICA-SAE-1045”.
- [35] “HERRAMIENTAS DE CORTE”. [En línea]. Disponible en: <http://m.korloy.com>
- [36] “Arduino en español: MODELOS DE ARDUINO”. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/modelos_29.html

- [37] “Módulo HX711 Transmisor de celda de carga”. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>
- [38] “BF350-3AA 350Ω High Precision Strain Gauge :: Micro JPM”. Consultado: el 9 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.microjpm.com/products/ad28647/>
- [39] “Alimentar el Arduino: La guía definitiva”. Consultado: el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/alimentar-el-arduino-la-guia-definitiva/>
- [40] J. Escobar, “Que es Excel y para qué sirve”, Excel Para Todos. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://excelparatodos.com/que-es-excel/>
- [41] “Elecgo”. Consultado: el 9 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elecgooperu.blogspot.com/>

Anexos

RESULTADOS DE PRUEBAS

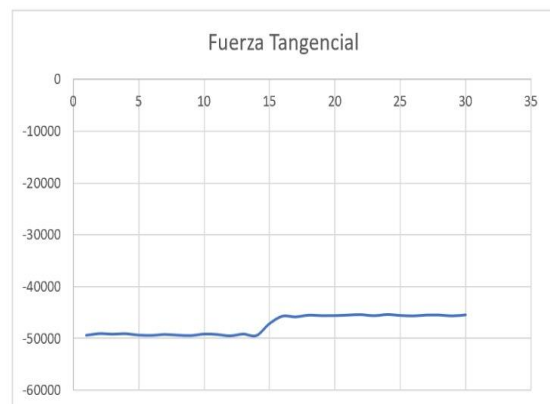
RESULTADO DE FUNCIONAMIENTO PRUEBA 1 CON AVANCE DE 0,10 Y PROFUNDIDAD DE 0,25.



| | |
|-------------------|---------|
| Fuerza Tangencial | 59.6792 |
| Fuerza Cortante | 46.368 |

Como resultado de la prueba 1 usando los parámetros planteados que son los valores mínimos, se observan dos tipos de gráficas, en la fuerza de corte la variación es mínima y para la fuerza tangencial se aprecia mejor el cambio.

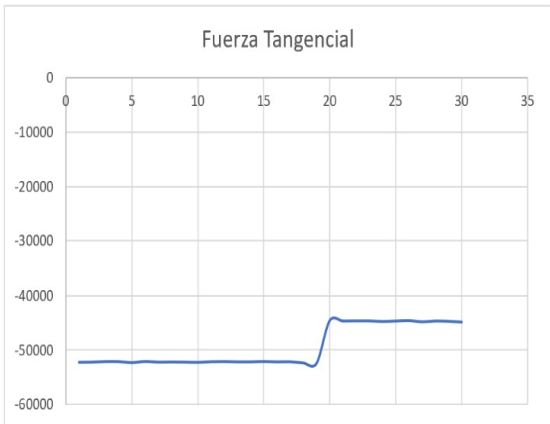
RESULTADO DE FUNCIONAMIENTO PRUEBA 2 CON AVANCE DE 0,15 Y PROFUNDIDAD DE 0,50.



| | |
|-------------------|----------|
| Fuerza Tangencial | 169.804 |
| Fuerza Cortante | 130.5952 |

Como resultado de la prueba 2 usando los parámetros planteados que son los valores medios, se observan dos tipos de gráficas, en la fuerza de corte la variación tiende a aumentar y comparación a los valores mínimos y para la fuerza tangencial el esfuerzo es mayor.

RESULTADO DE FUNCIONAMIENTO PRUEBA 1 CON AVANCE DE 0,20 Y PROFUNDIDAD DE 0,75.



| | |
|-------------------|----------|
| Fuerza Tangencial | 329.0024 |
| Fuerza Cortante | 261.0352 |



Como resultado de la prueba 3 usando los parámetros planteados que son los valores máximos, se observan dos tipos de gráficas, en la fuerza de corte la variación que presenta es mayor en comparación a las pruebas anteriores y para la fuerza tangencial dado el esfuerzo su pico es el más alto.

CÓDIGO DE ARDUINO

```
#include "HX711.h"
```

```
#include "SensorKalman.h"
```

```
#define do1 12
```

```
#define ck1 11
```

```
#define do2 10
```

```
#define ck2 9
```

```
SensorKalman sensor1;
```

```
SensorKalman sensor2;
```

```
HX711 celda1;
```

```
HX711 celda2;
```

```
long dato1=0;
```

```
long dato2=0;
```

```
double dato1d=0;
```

```
double dato2d=0;
```

```
long datot1=0;
```

```
long datot2=0;
```

```
double rawData=0;
```

```
double filterData1=0;
```

```
double filterData2=0;

uint32_t timer=0;

double dt=0;

int a=0;

float f1a=0;

float f1=0;

float f2a=0;

float f2=0;

byte encerado=0;

void setup()

{

    sensor1.setDistance(dato1d);

    sensor2.setDistance(dato2d);

    Serial.begin(9600);

    celda1.begin(do1,ck1);

    celda2.begin(do2,ck2);

    timer=micros();

}

void loop()
```

```

{

byte s=Serial.read();

if(s=='r')

{

    f2a=f2;

}

dt=(double)(micros()-timer)/1000000;

timer=micros();

if(celda1.is_ready())

{

    dato1=celda1.read();

    dato1d=dato1;

    filterData1=sensor1.getDistance(dato1d,dt);

    if(filterData1>0)filterData1=filterData1-f1a;

    if(filterData1<0)filterData1=filterData1+f1a;

//  Serial.print("dato1 ");

    Serial.print(dato1);

    Serial.print(",");

    f1=map(filterData1,-35000.0,-1000.59,0.0,274.0);

```

```

// f1=f1-f1a;

if(f1<0) f1=0;

if(encerado==1)

{

//Serial.print(f1);

//Serial.print(",");

}

else

{

if(a>10) if(filterData1>f1a) f1a=filterData1;

}

}

if(celda2.is_ready())

{

dato2=celda2.read();

dato2d=dato2;

filterData2=sensor2.getDistance(dato2d,dt);

if(filterData2>0)filterData2=filterData2-f2a;

if(filterData2<0)filterData2=filterData2+f2a;

```

```
// Serial.print(" dato2 ");

Serial.println(dato2);

f2=map(filterData2,25000.0,7950.52,64.35,324.65);

// f2=f2-f2a;

if(f2<0) f2=0;

if(encerado==1)

{

// Serial.println(f2);

}

else

{

if(a>10) if(filterData2>f2a) f2a=filterData2;

// Serial.println(f2);

a++;

if(a==20) encerado=1;

}

}

delay(400);

}
```

FILTRO DE KALMAN

```
#ifndef _Kalman_h

#define _Kalman_h

class SensorKalman {

public:

    SensorKalman(){

        Q_distance=1;

        R_measure=1;

        distance=0; //reset the distance

        P=0; //initial covariance matrix

    }

    double getDistance(double newDistance, double dt){

        //distance=distance; //piori distance

        P+=Q_distance*dt; //estimation error covariance

        //Kalman gain

        S=P+R_measure;

        K=P/S;

        //Update whith measurement

        y=newDistance-distance;
```

```

//Calculate distance

distance+=K*y;

//Update the error covariance

P*=(1-K);

return distance;

};

void setDistance(double newDistance){ distance = newDistance;};

double getQdistance(){return Q_distance;};

void setQdistance(double newQ_distance){Q_distance=newQ_distance;};

double getRmeasure(){return R_measure;};

void setRmeasure(double newR_measure){R_measure=newR_measure;};

private:

double Q_distance;

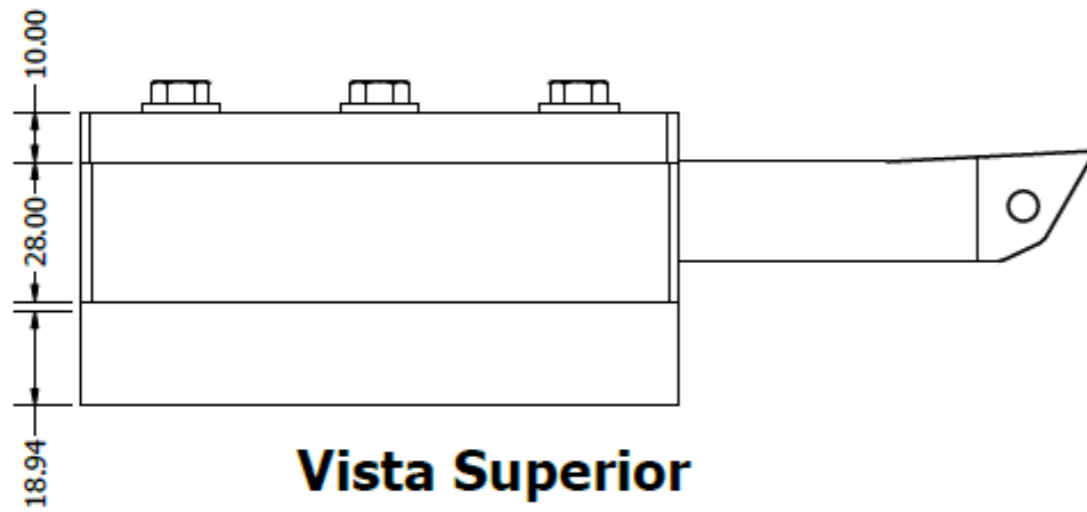
double R_measure;

double distance;

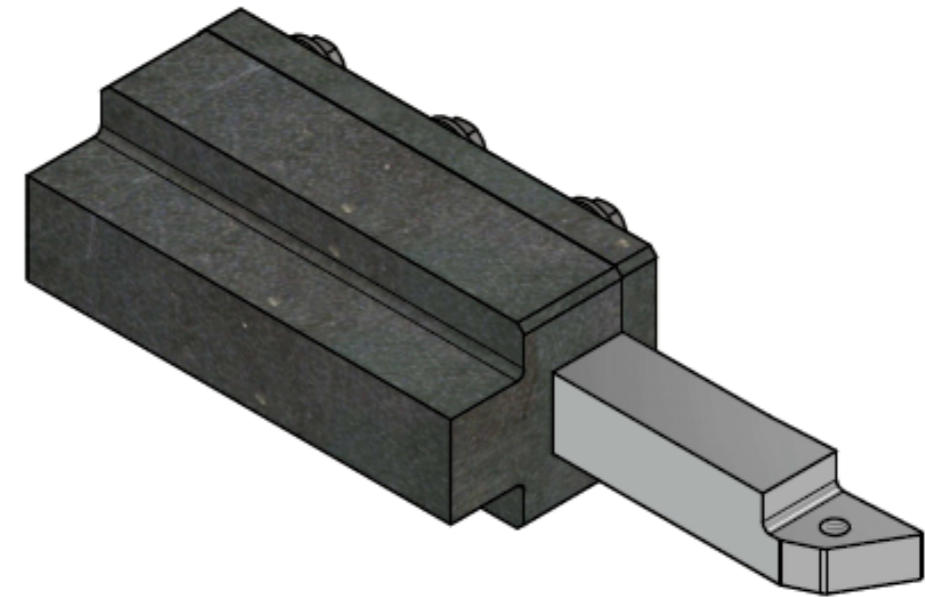
double P;    double K;    double y;    double S;    };    #endif

```

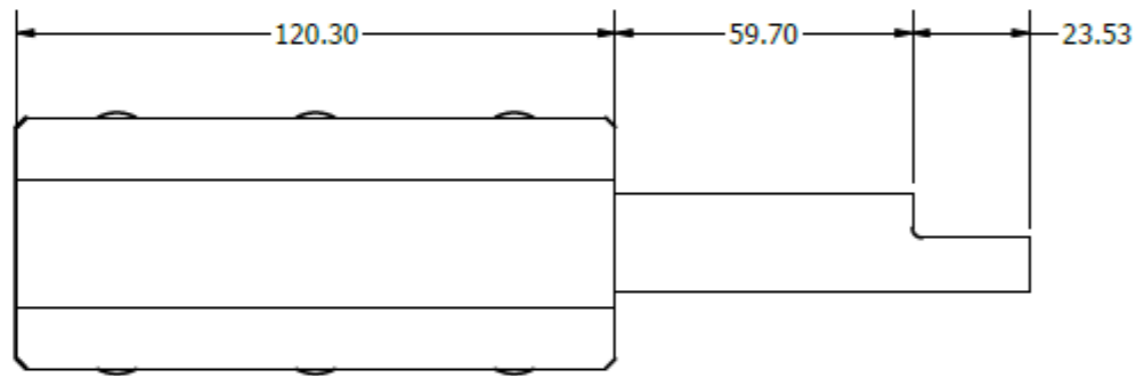
PLANOS



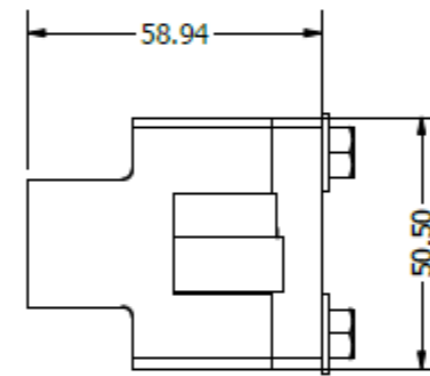
Vista Superior



Vista Isométrica

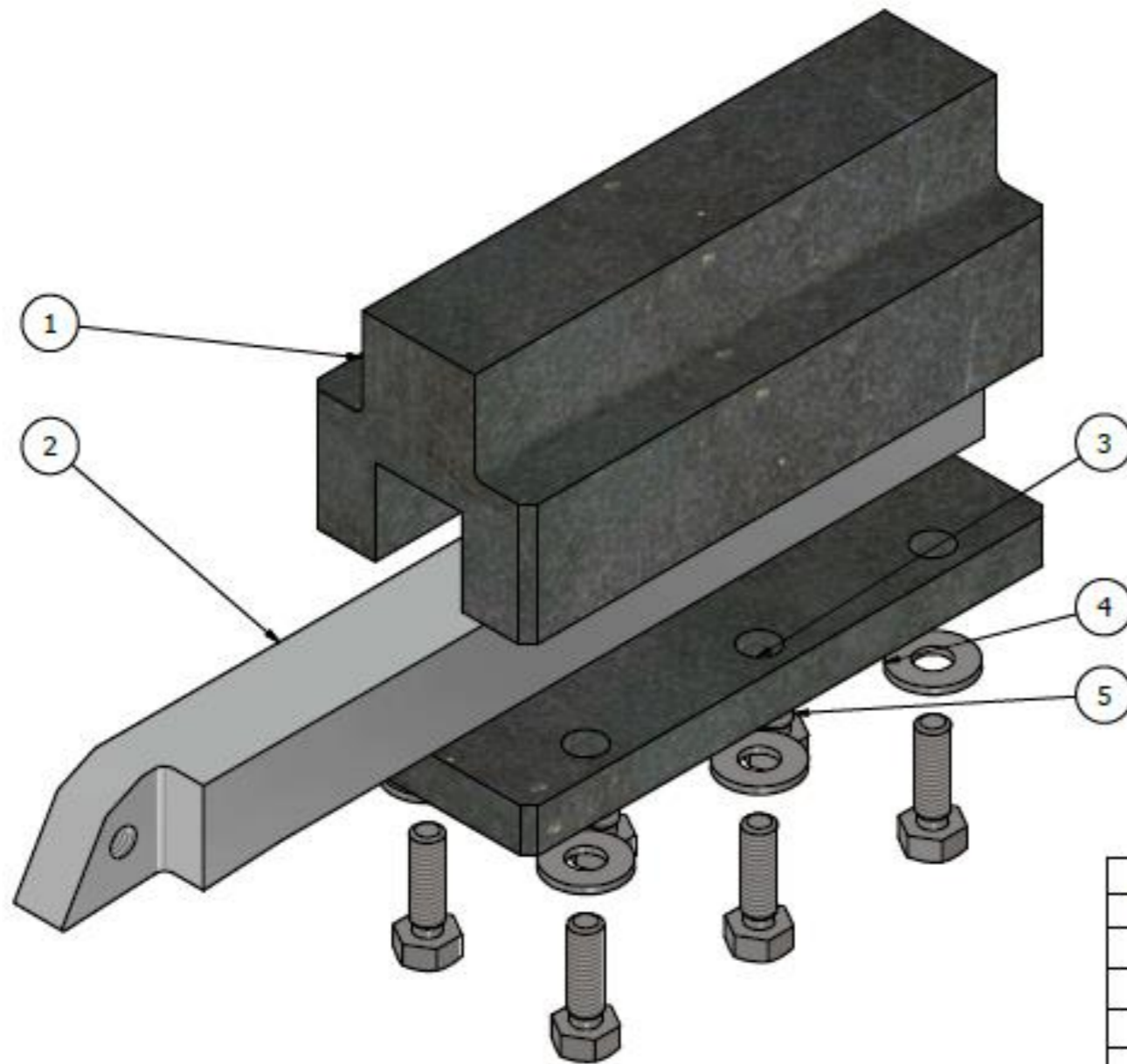


Vista Frontal

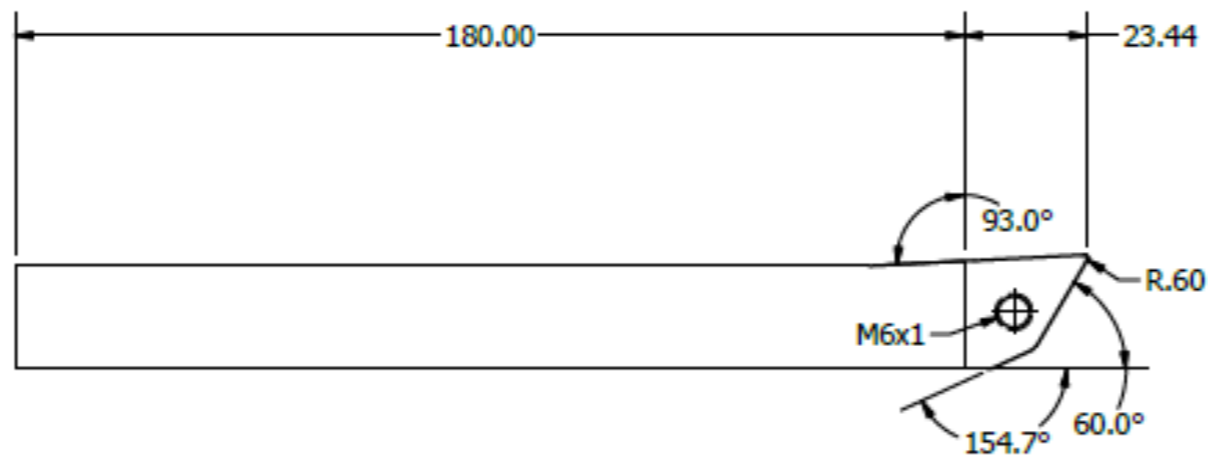


Vista Lateral Izquierda

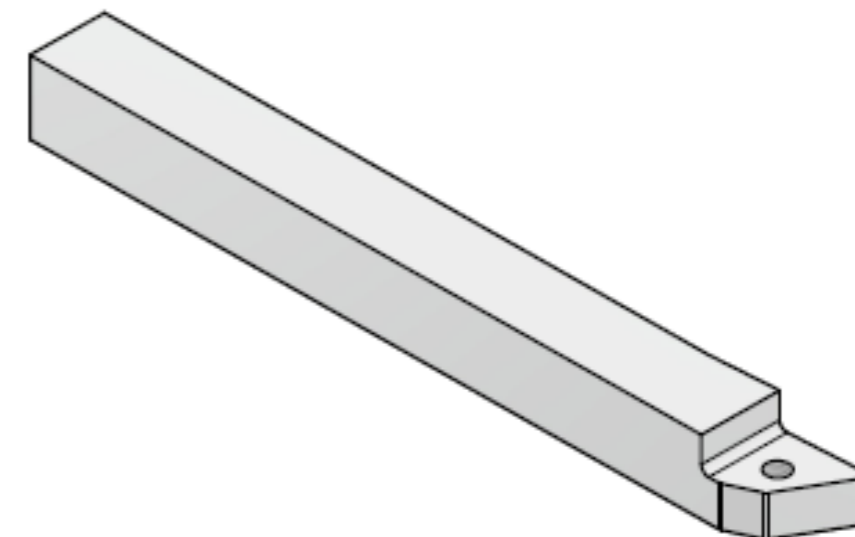
| | | | |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------|
| Carrera: Ing. Mecatrónica | 1 | 15/05/2023 | UPS |
| Int: Ramos Hugo - Cáceres Said | Planos.dwg | A4 | |
| Escala | 1.5 / 2 | GALGA EXTENSIOMÉTRICA | Tutor: Xavier Vaca MsC |
| | | | 1 |



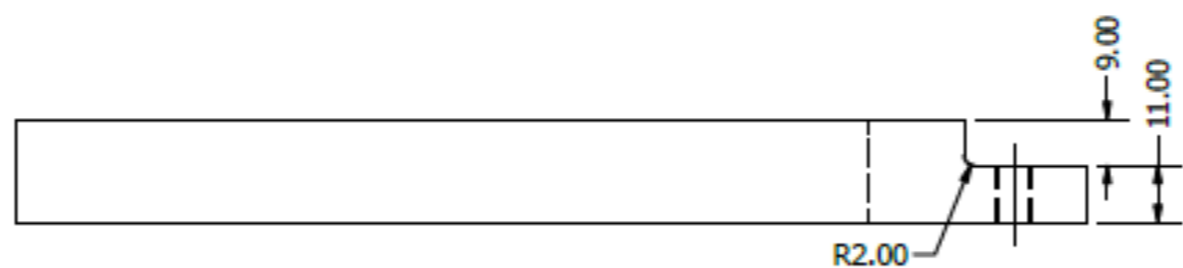
| LISTA DE PIEZAS | | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | PORTAINSERTO | Placa de acero 1045 |
| 2 | 1 | BARRA | Barra de aluminio 7075T6 |
| 3 | 1 | PLACA | Placa de acero 1045 |
| 4 | 6 | Washer GB/T 97.5-2002 8 N | Arandela plana para conjunto de tornillos autoroscantes |
| 5 | 6 | ANSI B 18.6.7 M / IFI 513 - M6 x 1.25 x 20, THHMSM | Tornillo para maquinaria de cabeza hex. recortada |
| Carrera: Ing. Mecatrónica | | 2 | 15/05/2023 |
| Int: Ramos Hugo - Cáceres Said | | | UPS |
| Planos.dwg | | A4 | |
| Escala | | | |
| 2 / 2 | GALGA EXTENSIOMÉTRICA | | Tutor: Xavier Vaca MsC |
| | | | 2 |



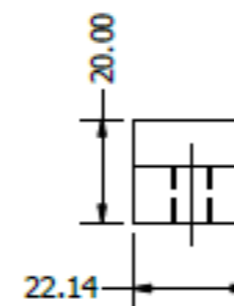
Vista Superior



Vista Isométrica

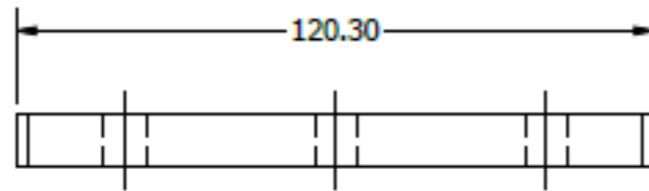


Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda

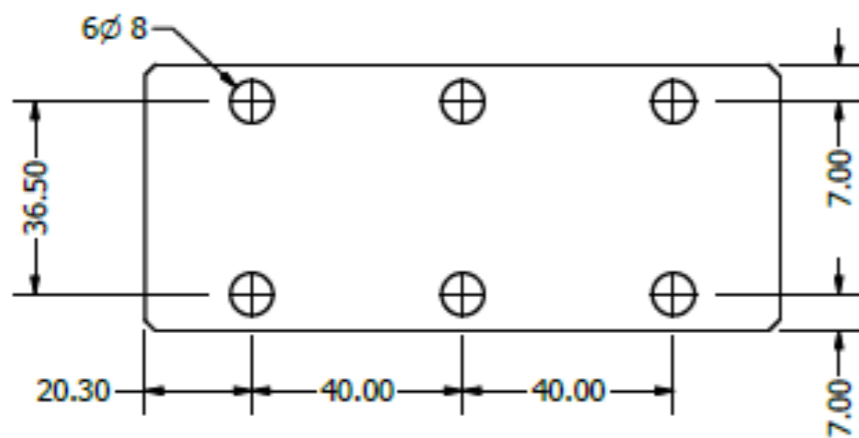
| | | | |
|--------------------------------|------------------------------|------------|------------------------|
| Carrera: Ing. Mecatrónica | 3 | 15/05/2023 | UPS |
| Int: Ramos Hugo - Cáceres Said | Planos.dwg | A4 | |
| Escala | 1.5 / 2 | | Aluminio 7075T6 |
| | GALGA EXTENSIOMÉTRICA | | Tutor: Xavier Vaca MsC |
| | | | 3 |



Vista Superior



Vista Isométrica

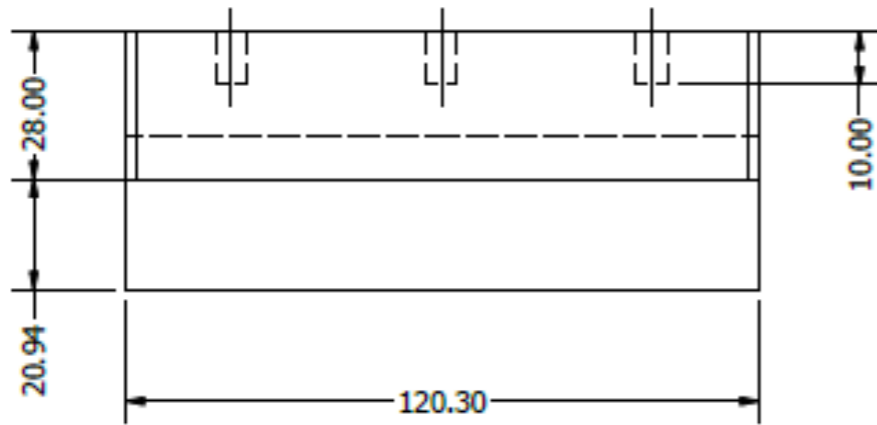


Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda

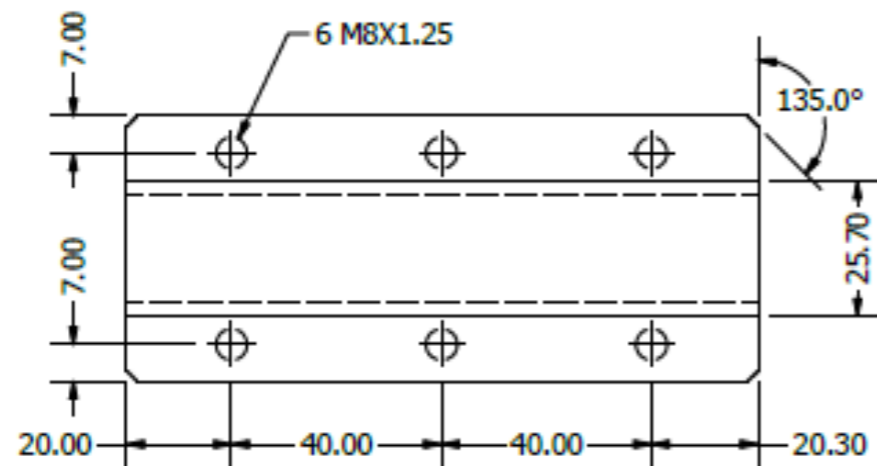
| | | | |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------|
| Carrera: Ing. Mecatrónica | 4 | 15/05/2023 | UPS |
| Int: Ramos Hugo - Cáceres Said | Planos.dwg | A4 | |
| Escala | 1.5 / 2 | GALGA EXTENSIOMÉTRICA | Acero 1045 |
| | | | Tutor: Xavier Vaca MsC |
| | | | 4 |



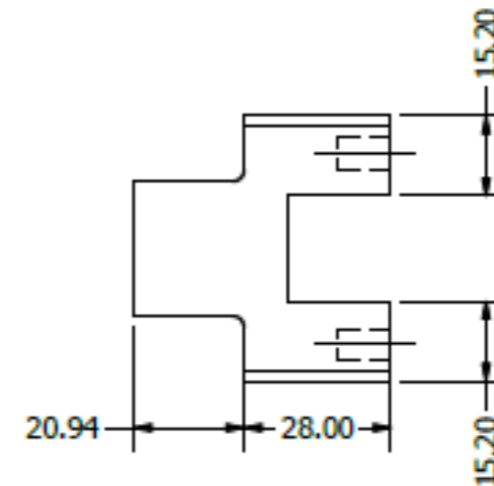
Vista Superior



Vista Isométrica



Vista Frontal



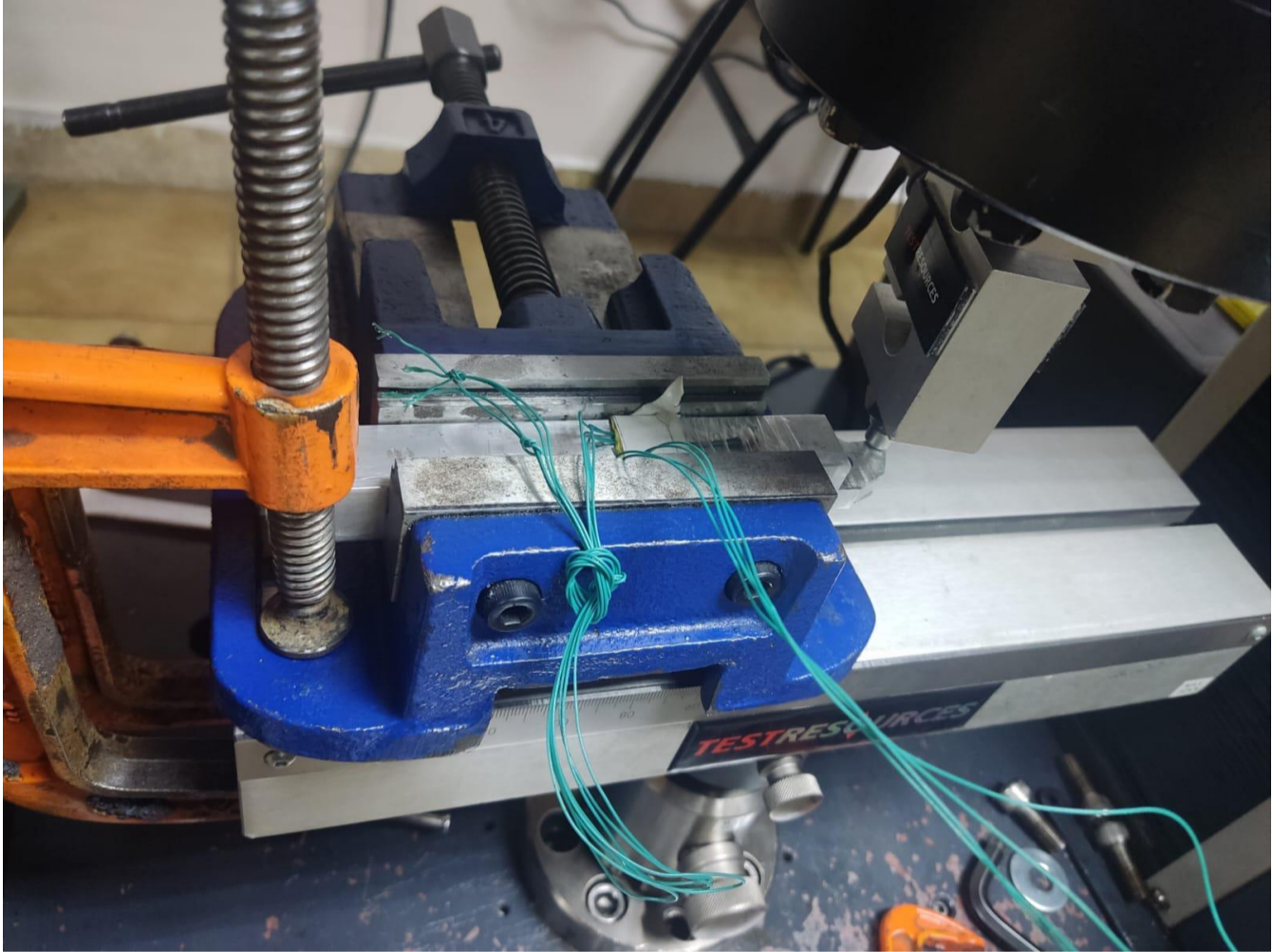
Vista Lateral Izquierda

| | | | |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------|
| Carrera: Ing. Mecatrónica | 5 | 15/05/2023 | UPS |
| Int: Ramos Hugo - Cáceres Said | Planos.dwg | A4 | |
| Escala | 1.5 / 2 | GALGA EXTENSIOMÉTRICA | Acero 1045 |
| | | | Tutor: Xavier Vaca MsC |
| | | | 5 |

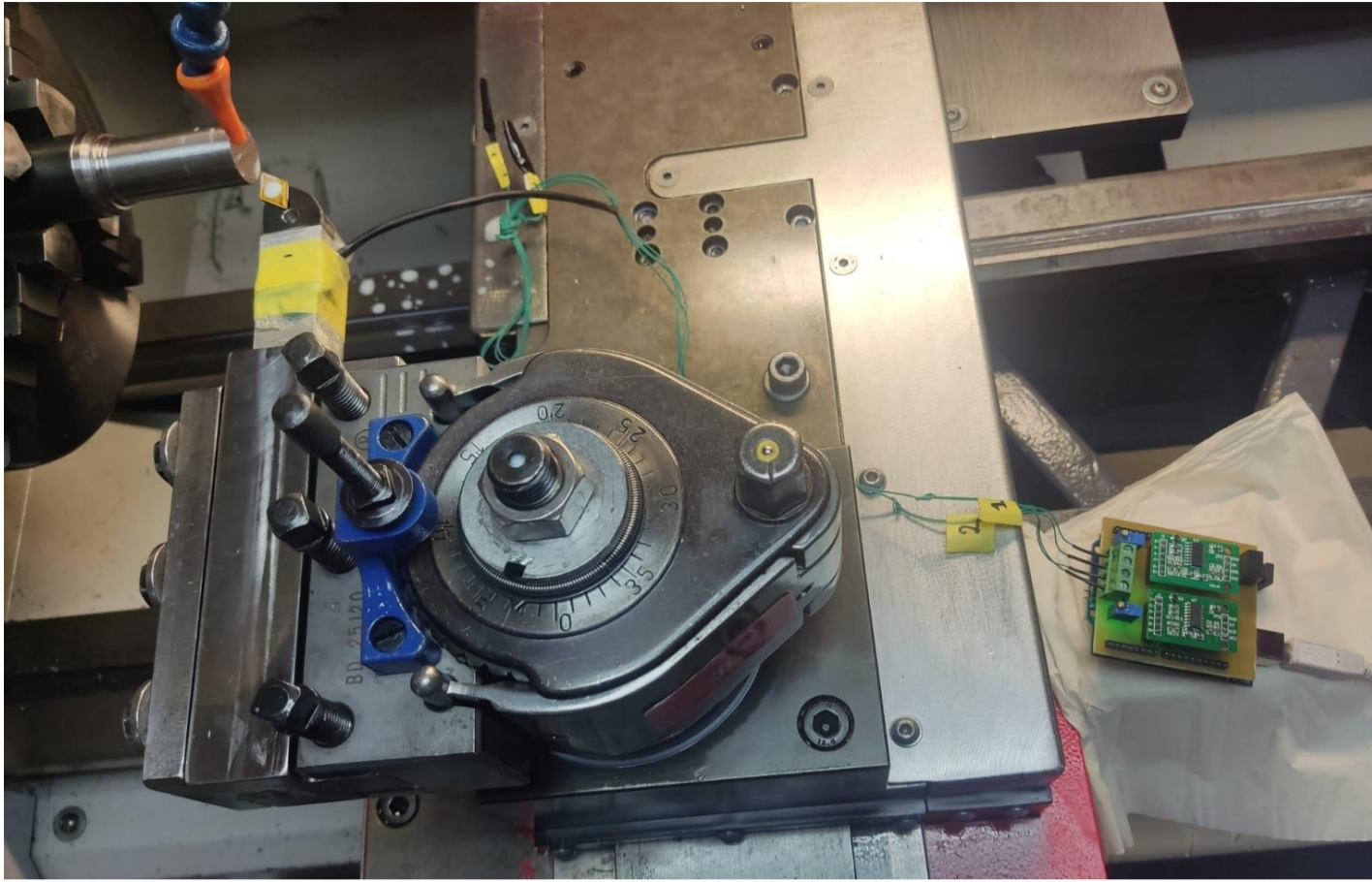
EVIDENCIAS



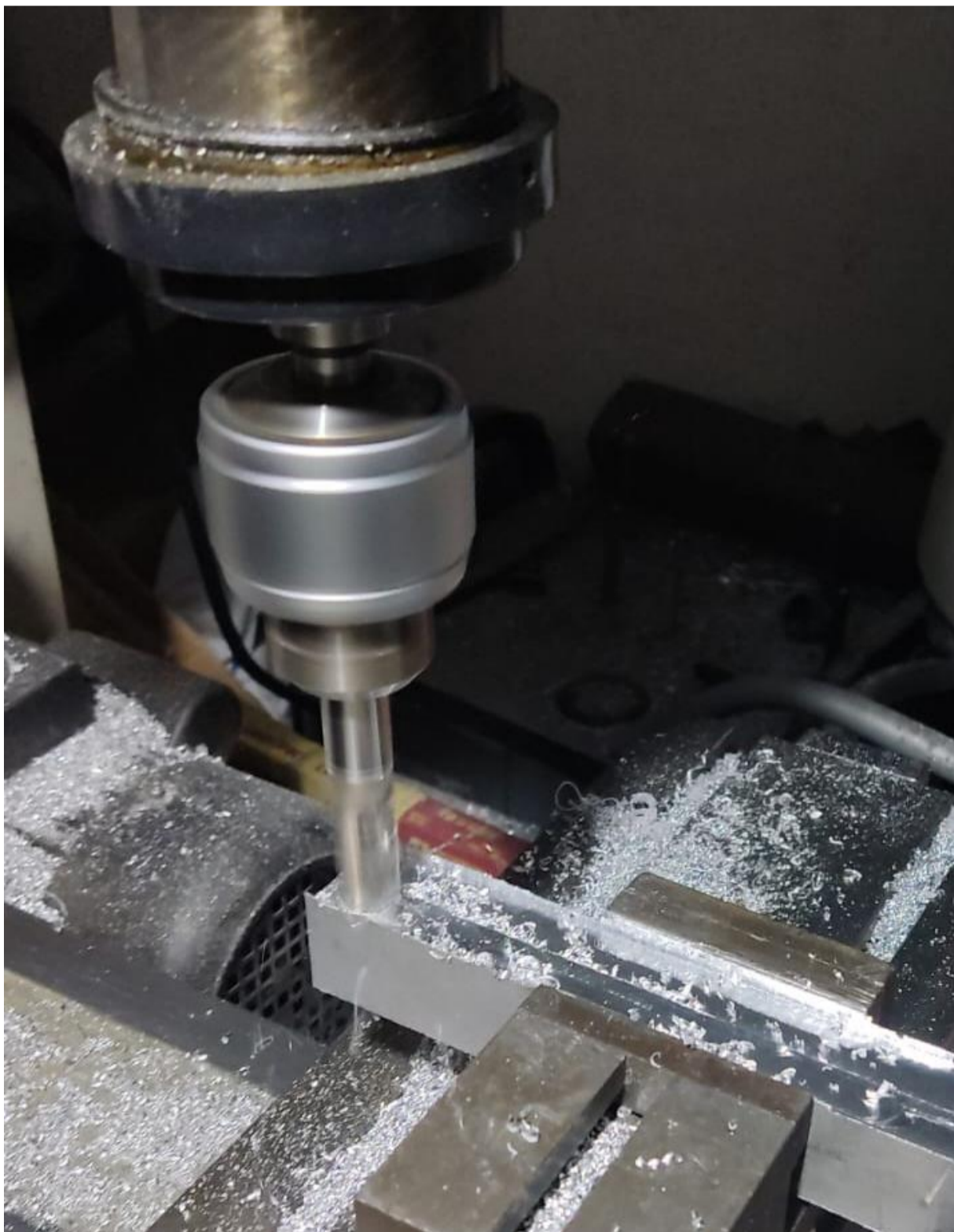
Calibración del dispositivo



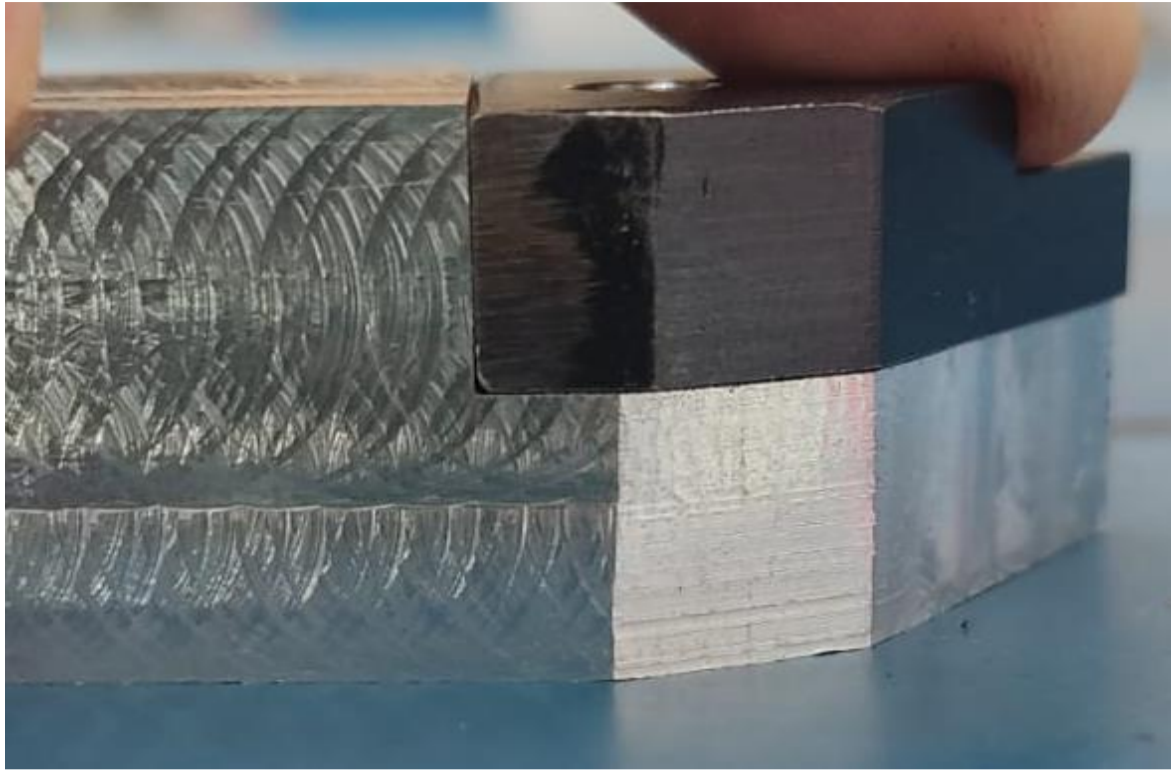
Calibración del dispositivo



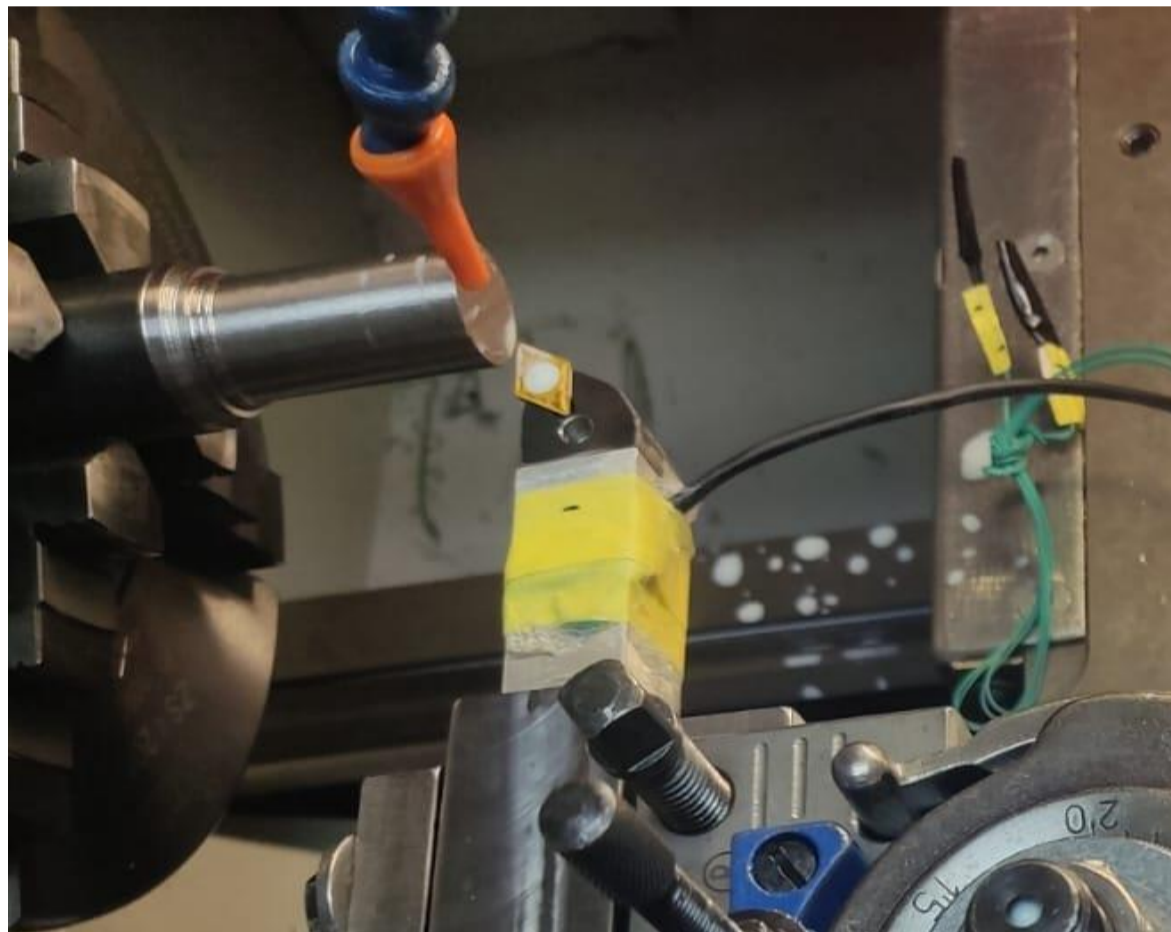
Instalación del dispositivo para realizar pruebas



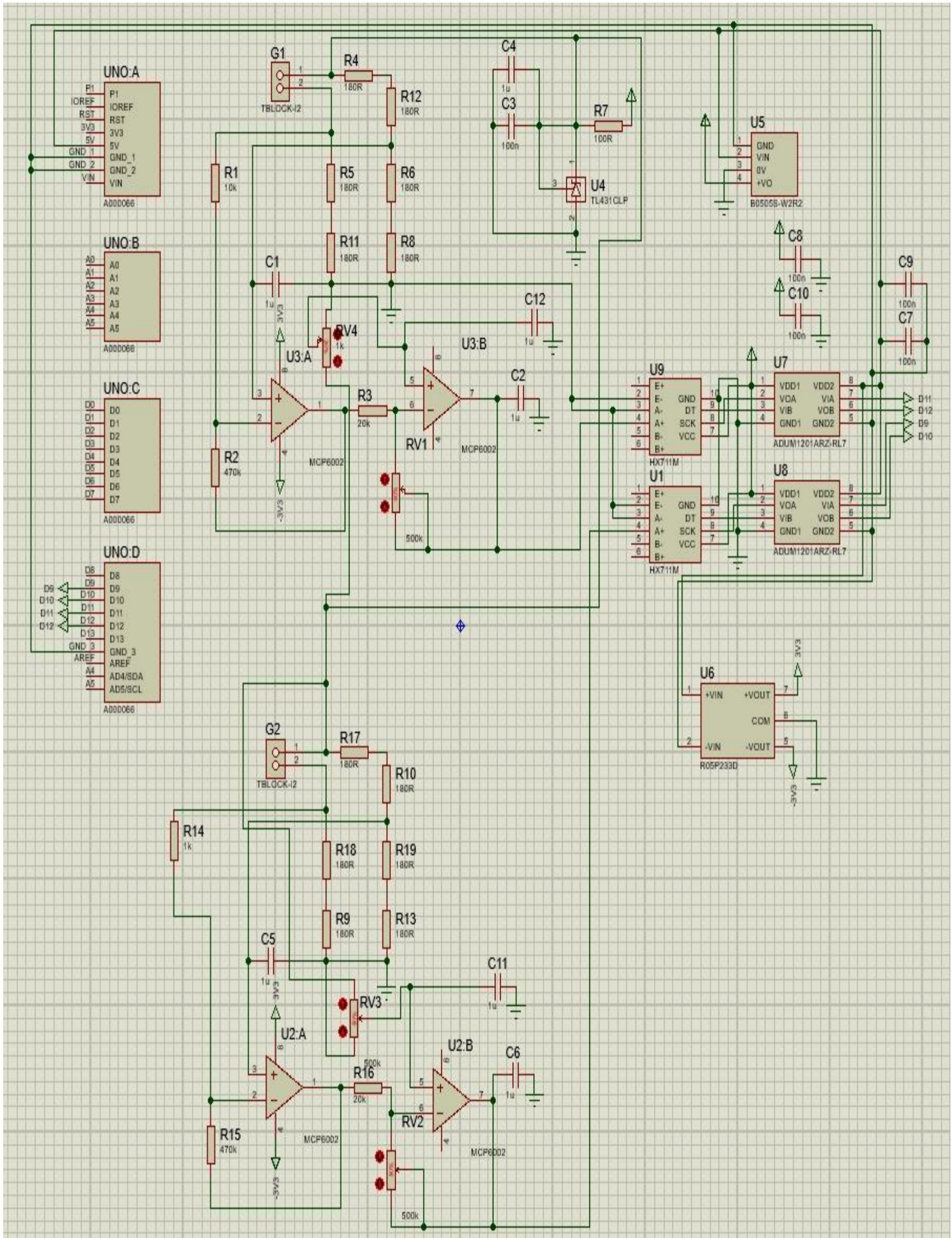
Construcción barra de aluminio



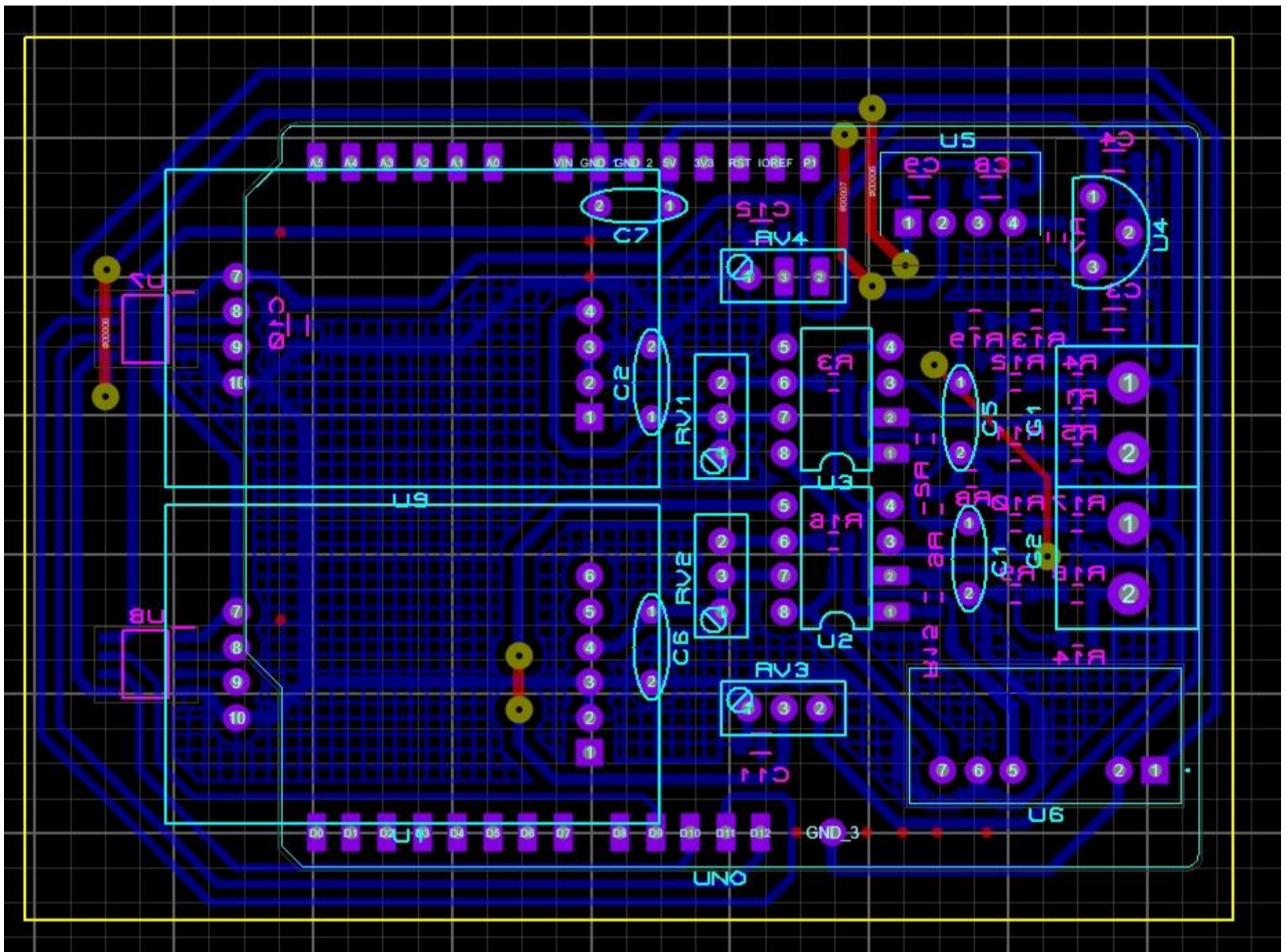
Acoplamiento del porta inserto



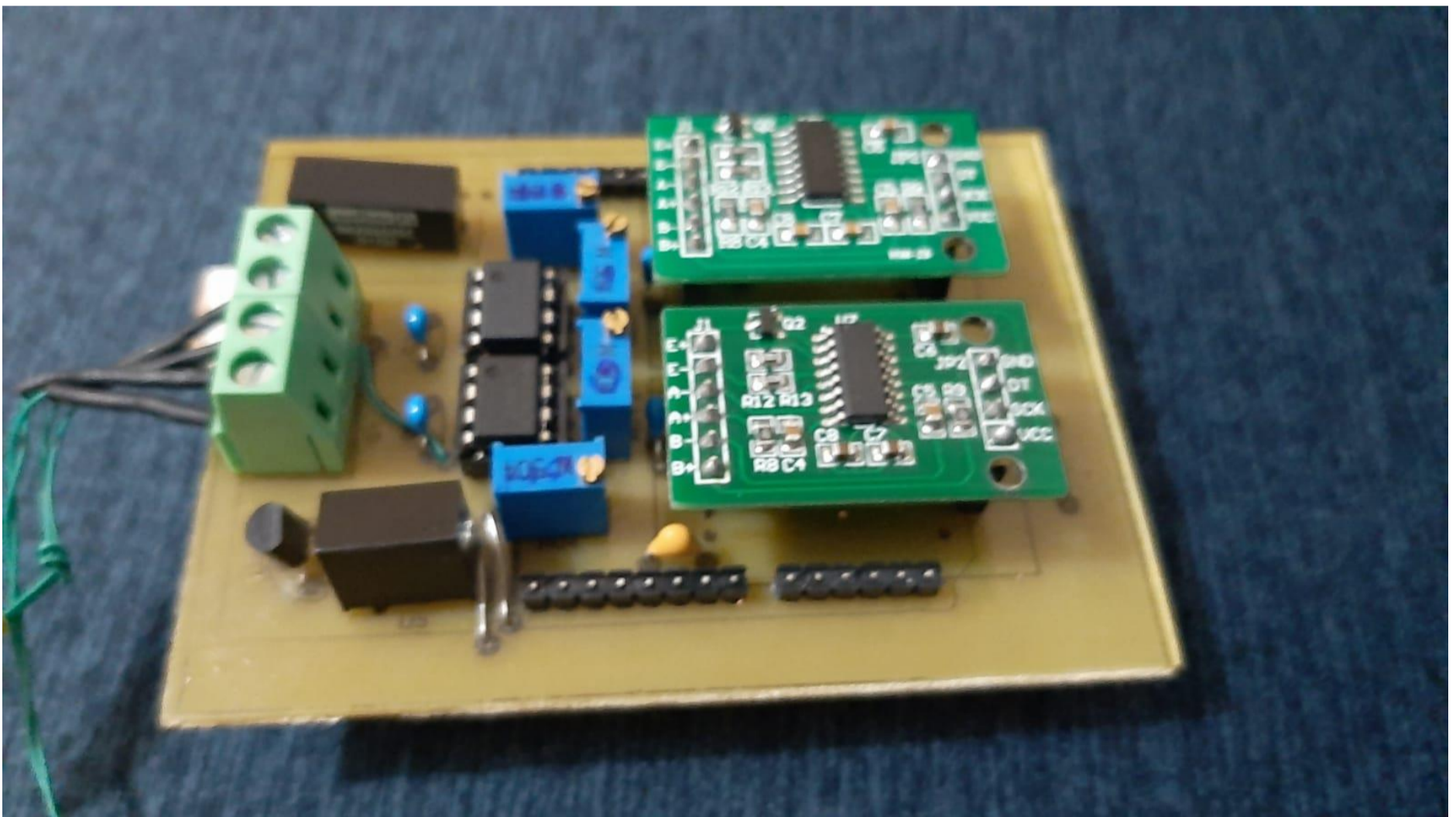
Prueba de ruido externo



Simulación del circuito



Diseño PCB



Construcción del circuito