



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

**Trabajo de suficiencia profesional para optar al título profesional
de:**

Ingeniero Mecatrónico

Autores:

Maykoll Jhordan Gaytan Aguirre

Jean Paul Rosales Cacha

Asesor:

Dr. Ing. Percy Junior Castro Mejia

<https://orcid.org/0000-0002-5345-5098>

Lima - Perú

2025


Informe de Similitud

Maykoll Jhordan Gaytan Aguirre

GAYTAN Y ROSALES - SUFICIENCIA PROFESIONAL -.docx

 SIGAT TURNITIN

 SIGAT UPN

 Asesores

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3428560490

Fecha de entrega

30 nov 2025, 6:46 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 nov 2025, 6:55 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

GAYTAN_Y_ROSALES_-_SUFICIENCIA_PROFESIONAL_-.docx

Tamaño del archivo

7.2 MB

75 páginas

8712 palabras

49.530 caracteres



Página 1 de 81 - Portada

Identificador de la entrega: trn:oid::1:3428560490



Página 2 de 81 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:oid::1:3428560490




11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Dedicatoria

Dedico este proyecto a nuestras familias, por su amor sin condiciones, dedicación y respaldo inquebrantable en todas las fases de nuestra existencia. Y a todos aquellos que, mediante su confianza y estímulo, han servido de inspiración para lograr mis objetivos educativos y laborales.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darnos bienestar, fuerza y entendimiento para completar esta propuesta. Agradezco a nuestros padres y a nuestra familia por su cariño, apoyo y comprensión constantes en todo momento. Agradezco a todos mis docentes y a la Universidad Privada del Norte por su guía, tolerancia y los saberes compartidos que permitieron la creación de este proyecto.

Tabla de contenido

Índice de tablas	6
Índice de figuras.....	7
Índice de ecuaciones	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	16
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	22
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS.....	53
ANEXOS	56

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Detalles técnicos del Arduino Nano V3.0</i>	28
Tabla 2. <i>Detalles técnicos del motor paso a paso Nema 17 (modelo JK42HS40-1704)</i>	29
Tabla 3. <i>Detalles técnicos de la correa de distribución GT2</i>	30
Tabla 4. <i>Detalles técnicos del driver DRV8825</i>	31
Tabla 5. <i>Detalles técnicos del módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825</i>	32
Tabla 6. <i>Detalles técnicos del DHT11</i>	33
Tabla 7. <i>Detalles técnicos del ventilador NMB-MAT</i>	34
Tabla 8. <i>Detalles técnicos del relé</i>	35
Tabla 9. <i>Detalles técnicos de la polea dentada (modelo GT2)</i>	36
Tabla 10. <i>Detalles técnicos de la fuente de alimentación AC/DC 12V</i>	37
Tabla 11. <i>Detalles técnicos de la cámara web (modelo ARG-WC-9140BK)</i>	38
Tabla 12. <i>Detalles técnicos de la cinta led</i>	39
Tabla 13. <i>Componentes electrónicos</i>	44
Tabla 14. <i>Componentes del sistema de transmisión</i>	44
Tabla 15. <i>Componentes audiovisual (equipo de video)</i>	45
Tabla 16. <i>Materiales empleados para la estructura</i>	45
Tabla 17. <i>Mano de obra para la fabricación de las piezas</i>	46
Tabla 18. <i>Resultados obtenidos mediante el interfaz</i>	48

Índice de figuras

Figura 1. <i>Informe de RUC de Detecso SAC</i>	11
Figura 2. <i>Mapa de localización de la empresa Detecso SAC</i>	12
Figura 3. <i>Organigrama de Detecso SAC</i>	13
Figura 4. <i>Participantes en el proyecto</i>	23
Figura 5. <i>Plano general y lista de componentes utilizados en el proyecto</i>	25
Figura 6. <i>Plano general del esquema electrónico utilizado en el proyecto</i>	27
Figura 7. <i>Arduino Nano V3.0</i>	28
Figura 8. <i>Motor paso a paso Nema 17 (modelo JK42HS40-1704)</i>	29
Figura 9. <i>Correa de distribución GT2</i>	30
Figura 10. <i>Driver paso a paso DRV8825</i>	31
Figura 11. <i>Módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825</i>	32
Figura 12. <i>Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11</i>	33
Figura 13. <i>Ventilador NMB-MAT</i>	34
Figura 14. <i>Módulo relé</i>	36
Figura 15. <i>Polea dentada (modelo GT2)</i>	37
Figura 16. <i>Fuente de alimentación AC/DC 12V</i>	37
Figura 17. <i>Cámara Web (modelo ARG-WC-9140BK)</i>	39
Figura 18. <i>Cinta led</i>	40
Figura 19. <i>Interfaz del programa en el punto de orientación (0⁰- 360⁰)</i>	47
Figura 20. <i>Interfaz del programa en el punto de orientación (180⁰)</i>	47
Figura 21. <i>Comparación de resultados obtenidos del diseño mecánico.</i>	50

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. <i>Longitud de correa</i>	41
Ecuación 2. <i>Revolución del motor</i>	42
Ecuación 3. <i>Cálculo del par de carga</i>	43
Ecuación 4. <i>Fuerza</i>	43

RESUMEN EJECUTIVO

La experiencia profesional se desarrolló en Detecso SAC, empresa especializada en la calibración, fabricación y mantenimiento de instrumentos de laboratorio. Su entorno laboral se caracteriza por altos estándares de calidad, exigencias técnicas rigurosas y la necesidad constante de desarrollar soluciones innovadoras para mejorar la precisión en los procesos metrologógicos. En este contexto, surgió el desafío de diseñar un calibrador portátil para la calibración de brújulas magnéticas, con el propósito de ampliar la capacidad operativa de la empresa y optimizar la exactitud de sus mediciones. El problema principal consistía en la falta de un equipo confiable y capaz de integrar el reconocimiento de imágenes para automatizar la detección de la aguja magnética. Para su desarrollo, se emplearon herramientas de procesamiento digital de imágenes y métodos de diseño electrónico orientados a la creación de prototipos funcionales. También se aplicaron prácticas de validación y pruebas iterativas para garantizar la precisión del dispositivo. Como resultado, se obtuvo un calibrador portátil que mejora la eficiencia del proceso, reduce errores y fortalece la capacidad productiva de la empresa. La experiencia permitió aplicar competencias como ingeniería aplicada, resolución de problemas, pensamiento crítico, innovación tecnológica y trabajo colaborativo, concluyendo en una solución técnica efectiva y escalable.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la empresa

Development y Tecnological Solutions SAC (Detecso SAC), fundada en 2018 y registrada con el número RUC 20602992226, es una empresa especializada en el mantenimiento, la calibración, la fabricación y la distribución de equipos de laboratorio. La empresa ofrece a sus clientes soluciones de alta calidad adaptadas a sus necesidades, centrándose en el mantenimiento y la calibración de instrumentos de medición de diversos tamaños. Detecso SAC cuenta con un equipo de ingenieros altamente calificados de diversas disciplinas que brindan soporte técnico especializado y desarrollan soluciones tecnológicas. Su compromiso con la calidad y la mejora continua les ha permitido crecer a lo largo de los años y consolidar una cartera de clientes compuesta por empresas de renombre.

1.2. Datos principales de la empresa

Según la Superintendencia Nacional de Supervisión Tributaria (SUNAT), la información de Detecso SAC se detalla en la Figura 1. Esta figura muestra información general del contribuyente, datos del contribuyente, domicilio fiscal y datos de la empresa reportados en el informe RUC.

Figura 1

Informe de RUC de Detecso SAC

Consulta RUC

Volver

Resultado de la Búsqueda			
Número de RUC:	20602992226 - DEVELOPMENT Y TECHNOLOGICAL SOLUTIONS S.A.C.		
Tipo Contribuyente:	SOCIEDAD ANONIMA CERRADA		
Nombre Comercial:	D'CAM		
Fecha de Inscripción:	12/03/2018	Fecha de Inicio de Actividades:	12/03/2018
Estado del Contribuyente:	ACTIVO		
Condición del Contribuyente:	HABIDO		
Domicilio Fiscal:	AV. PERU NRO. 1313 URB. HUAQUILLAY LIMA - LIMA - COMAS		
Sistema Emisión de Comprobante:	COMPUTARIZADO	Actividad Comercio Exterior:	IMPORTADOR/EXPORTADOR
Sistema Contabilidad:	COMPUTARIZADO		
Actividad(es) Económica(s):	Principal - 7490 - OTRAS ACTIVIDADES PROFESIONALES, CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS N.C.P. Secundaria 1 - 3312 - REPARACIÓN DE MAQUINARIA Secundaria 2 - 4540 - VENTA, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE MOTOCICLETAS Y SUS PARTES, PIEZAS Y ACCESORIOS		
Comprobantes de Pago c/aut. de impresión (F. 806 u 816):	NINGUNO		
Sistema de Emisión Electrónica:	FACTURA PORTAL DESDE 03/09/2018 BOLETA PORTAL DESDE 17/09/2018 DESDE LOS SISTEMAS DEL CONTRIBUYENTE. AUTORIZ DESDE 07/04/2021 GUIA DE REMISION DESDE 08/08/2021		
Emisor electrónico desde:	17/08/2018		
Comprobantes Electrónicos:	BOLETA (desde 17/09/2018),FACTURA (desde 03/09/2018), GUIA (desde 08/08/2021)		
Afiliado al PLE desde:	-		
Padrones:	NINGUNO		
Fecha consulta: 12/11/2025 0:32			

Nota. La información de RUC ha sido obtenida del portal oficial de la SUNAT (2025).

1.3. Misión

Brindar servicios y soluciones tecnológicas de vanguardia con los más altos estándares de calidad, garantizando confiabilidad, precisión y eficiencia en todos nuestros procedimientos.

1.4. Visión

Nuestro objetivo es ser la empresa líder en ingeniería, destacándonos a nivel nacional e internacional por la calidad sobresaliente de nuestros servicios, el desarrollo de soluciones innovadoras y nuestro compromiso con el avance tecnológico y la investigación.

1.5. Valores

La compañía se basa en principios firmes: la integridad y la honestidad aseguran que todas nuestras relaciones sean transparentes. La responsabilidad y el compromiso nos impulsan a buscar la mejor calidad y la excelencia. Asimismo, promovemos la capacidad de adaptación y la innovación con el fin de proveer soluciones que sean efectivas.

1.6. Localización de la empresa

Detecso SAC se encuentra en la Av. República del Perú No. 1313, Urb. Huaquillay, Comas, Lima, Perú.

Figura 2.

Mapa de localización de la empresa Detecso SAC



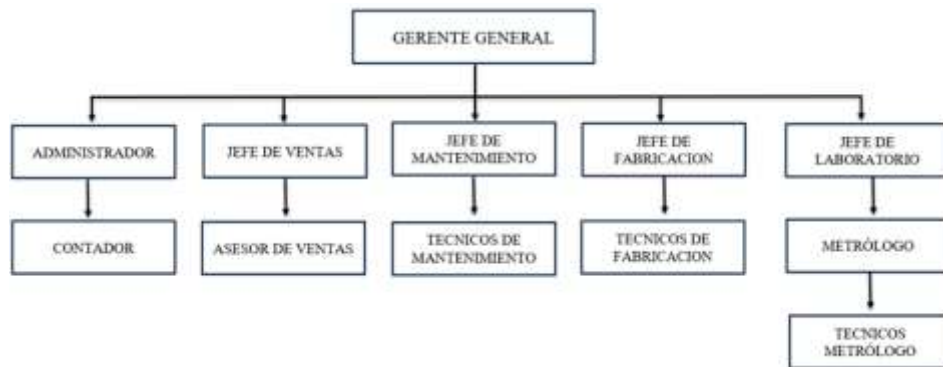
Nota. El gráfico muestra la ubicación de Detecso SAC, donde se realizan las actividades de mantenimiento, calibración y fabricación. Obtenido de Google Maps, 2025.

1.7. Organigrama

El organigrama de la empresa ilustra la estructura jerárquica y funcional, y destaca las relaciones entre los distintos departamentos. El equipo directivo se sitúa en la cúspide y es responsable de la dirección estratégica y las decisiones clave. Dependen del equipo directivo diversas unidades operativas y administrativas, cada una con tareas específicas para alcanzar los objetivos de la empresa.

Figura 3

Organigrama de Detecso SAC



Nota. El organigrama muestra la estructura jerárquica y refleja la distribución de puestos dentro de la empresa.

1.8. Clientes

Con el pasar de los años, Detecso SAC ha fortalecido continuamente sus relaciones con sus clientes, con quienes colabora regularmente. Estos clientes se enumeran a continuación:

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas SAC

Universidad Privada del Norte SAC

IES Cibertec SAC

Universidad San Ignacio de Loyola SRL

Universidad Nacional de ingeniería UNI

1.9. Servicios

Mantenimiento de equipos de laboratorio e industriales

La compañía brinda servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para una variedad de equipos industriales y de laboratorio, asegurando su funcionamiento y extendiendo su vida útil. El mantenimiento preventivo permite la identificación anticipada de fallas potenciales, previene detenciones no programadas y garantiza que los equipos sigan funcionando sin interrupciones. Por otro lado, el mantenimiento correctivo se enfoca en arreglar y restaurar equipos que presentan fallas o señales de deterioro, asegurando así que vuelvan a un estado óptimo de funcionamiento. La compañía asegura un servicio confiable y eficaz que se ajusta a los estándares de calidad más elevados, gracias a su equipo de ingenieros con gran experiencia en todas las áreas.

Calibración de instrumentos de medición

Detecso SAC dispone de laboratorios modernos, totalmente equipados y regulados para calibrar instrumentos de medición en distintos rangos. Estos laboratorios aseguran condiciones ambientales adecuadas para mediciones precisas y satisfacen estrictas normas de calidad. La calibración y certificación de los instrumentos patrón es realizada por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), lo que asegura la trazabilidad metrológica y la confianza en los resultados. Asimismo, para procesar y examinar los datos de calibración se emplean hojas de cálculo que han sido validadas por profesionales en metrología, lo cual garantiza la precisión de los resultados y reduce los errores de cálculo.

Diseño y fabricación de equipos

La compañía se enfoca en crear, desarrollar e implementar equipos. A lo largo del proyecto, sus ingenieros trabajan de manera cercana con los clientes para brindarles un

asesoramiento completo y asegurar que el producto final cumpla no solo con las exigencias y necesidades del cliente, sino también con las normativas técnicas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Conocimiento práctico

Para realizar un calibrador portátil para brújulas magnéticas, se cuentan con conocimientos adquiridos de la mecánica, la electrónica, el control y la informática para diseñar e optimizar sistemas inteligentes y funcionales. La capacidad de diseñar circuitos, el uso de placas microcontroladoras (Arduino, STM32 o ESP32) que nos permite la adquisición, procesamiento y transmisión de datos a una interfaz digital o software de calibración.

Estos conocimientos adquiridos en mis años de experiencia laboral me han permitido abordar de manera efectiva los procesos que se requieren para ejecutar un calibrador portátil para la realización de calibraciones de las brújulas magnéticas en la empresa Detecso SAC.

Campo magnético

Para el autor Carbonell (2017) señala que todos los organismos vivos se ven afectados por los campos magnéticos, lo que los convierte en un tema de interés global. Por ejemplo, la capacidad de orientación de los animales ha sido durante mucho tiempo uno de los mayores misterios de la naturaleza. El hecho de que ciertas algas y bacterias utilicen el geomagnetismo (poseen magnetosomas, largas cadenas de cristales de magnetita) para orientarse demuestra directamente la influencia del campo magnético terrestre en la vida. De igual manera, las propiedades magnéticas de las bacterias también son notables.

Además, señala que los campos magnéticos pueden modular ciertos aspectos de la actividad neuronal humana, pero sus efectos sobre la salud siguen siendo muy controvertidos debido a los posibles efectos nocivos de los campos magnéticos generados por líneas eléctricas de alta tensión, torres de telefonía móvil, productos tecnológicos o electrodomésticos.

Para el autor Ramírez (2019) enfatiza que los campos magnéticos se comportan de manera similar a los campos eléctricos porque, al igual que las cargas estáticas generan un

campo eléctrico en el espacio, las corrientes o cargas en movimiento, además de generar un campo eléctrico correspondiente, también producen un campo magnético a su alrededor. Este campo magnético ejerce una fuerza sobre cualquier carga o corriente en movimiento dentro de sus límites.

2.2. Magnetismo

Para el autor Hernández (2020) se interesa por los sistemas magnéticos de baja dimensión, tanto por sus potenciales aplicaciones tecnológicas como por su importante valor para la investigación fundamental. En los últimos años, el magnetismo del grafeno y sus nanocintas se ha dilucidado teóricamente y observado experimentalmente. Los estados de contorno y los defectos son las razones fundamentales por las que estos sistemas basados en grafeno exhiben magnetismo. Los estados de borde y los defectos son lo que producen las propiedades magnéticas que se exhiben en estos sistemas basados en grafeno. Para este propósito, las impurezas adsorbidas y sustitucionales se emplean con frecuencia.

Además, esto demuestra que el magnetismo se puede alterarse mediante deformación, lo que provoca transiciones de fase magnética en el siliceno de tipo N y el grafeno de tipo P. Además, en nuestro caso de átomos de vanadio, la introducción de impurezas con electrones d en el grafeno y sus nanocintas produce un estado ferromagnético independiente del tipo o tamaño de borde. Para ambas impurezas, demostramos que la interacción magnética entre los átomos de vanadio en las nanocintas está fuertemente influenciada por el ancho y el tipo de borde.

Según la definición de SIDECI (2018) el magnetismo es la interacción entre dos partículas cargadas en movimiento. En este sentido, podemos afirmar que las partículas involucradas interactúan a través de dos mecanismos que producen fuerzas claramente diferentes: magnética y eléctrica.

También señala que la interacción de los campos magnéticos y eléctricos puede considerarse un campo. De hecho, se puede definir un campo de inducción magnética, que suele variar con el tiempo y la ubicación. Las cargas en movimiento ya sean individuales o colectivas, que existen en forma de corrientes eléctricas convencionales, son fuentes de este campo de inducción magnética.

2.3. Declinación magnética

La declinación se presenta solamente como una manifestación de la complejidad del campo geomagnético. Este campo no es completamente simétrico, ya que tiene elementos no dipolares y el mismo dipolo no está alineado de manera perfecta con el eje de rotación del planeta. Si alguien estuviera en el polo geomagnético del norte, la brújula no tendría inclinación hacia ninguna dirección específica si se sostiene horizontalmente como es habitual; lo mismo pasaría si uno estuviera en el polo geomagnético del sur. Según el USGS (2022), si la brújula se sostuviera de lado,

La declinación magnética es solo una manifestación de la complejidad del campo magnético terrestre. El campo magnético terrestre no es perfectamente simétrico porque contiene componentes no dipolares, y los propios dipolos no están perfectamente alineados con el eje de rotación terrestre. Si alguien se encuentra en el Polo Norte magnético y sostiene una brújula horizontalmente, como de costumbre, esta no apuntará en ninguna dirección en particular; lo mismo ocurre si se encuentra en el Polo Sur magnético. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2022) si se sostiene una brújula de lado, la punta que indica el norte se dirigiría hacia abajo en el polo geomagnético norte y hacia arriba en el polo geomagnético sur.

Para el autor Vázquez (2018) el magnetismo ambiental es una disciplina en rápido desarrollo en los últimos años. Combina el estudio de las características magnéticas de

minerales y rocas (magnetismo de rocas) con el análisis de indicadores independientes (microfósiles, geoquímica y mineralogía), que en conjunto constituyen la base para la interpretación de datos ambientales.

Además, el magnetismo de rocas busca caracterizar la composición mineral a través de su comportamiento magnético. Al aplicar un campo magnético a cualquier material, este puede adquirir magnetización temporal o permanente, dependiendo de factores como su composición química, estructura atómica y las condiciones ambientales en las que se aplica.

2.4. Campo magnético terrestre

Según SIDECI (2022) indica que el análisis de la actividad solar y sus repercusiones en nuestra sociedad, que tiene una fuerte dependencia tecnológica, es constantemente monitoreado y estudiado. En este contexto, es especialmente importante modelar esta actividad solar; por lo tanto, se han creado códigos como el ENLIL del CCMC (Centro de Modelado Coordinado de la Comunidad), que pronostican las condiciones del viento solar.

También exploramos la relación entre las funciones de acoplamiento y los datos terrestres mediante el estudio del comportamiento de subtormentas y el análisis de la actividad solar y su interacción con los campos magnéticos terrestres.

Para el autor Ortiz (2022) los procesos geológicos constituyen un reto pedagógico por varias razones, entre ellas la necesidad de conocer conceptos de diferentes ciencias fundamentales para poder explicar cada proceso. Es el caso de los fenómenos vinculados a la tectónica de placas, como la creación de una nueva corteza oceánica y la manera en que se mueven los continentes a medida que aumenta el piso oceánico. Durante el desarrollo de la teoría de la Tectónica de Placas, se destacan también las consecuencias que se tuvieron para comprender este proceso.

Para el autor Silva (2020) indica que los materiales del Manto terrestre contienen un

alto porcentaje de componentes ferromagnéticos. Estos provienen de zonas más profundas y calientes, y cuando alcanzan la superficie, emergen como volcanes o en las dorsales que atraviesan los fondos marinos. Al llegar a la superficie, su temperatura baja drásticamente, lo cual provoca que se solidifiquen y también adquieran propiedades predominantes en el entorno.

Asimismo, existen dos métodos principales para magnetizar las rocas. La primera se denomina: "Magnetización termorremanente", que es obtenida por las rocas ígneas cuando se enfrían y atraviesan la temperatura de Curie. Entre la temperatura de Curie y 30 °C por debajo de esta. Se denomina al segundo tipo de magnetización: "Magnetización remanente deposicional", que es característico de las rocas sedimentarias formadas por partículas originadas a partir de la erosión de rocas ígneas que, en un principio, venían del Manto.

2.5. Brújula magnética

Un instrumento que sirve para determinar la dirección en la superficie terrestre a través de un puntero magnético que se alinea con la Tierra. La brújula magnética es el modelo de brújula más antiguo y popular, y se emplea de distintas maneras en barcos, aeronaves y vehículos terrestres, además de ser usada por topógrafos. Parece que, de manera independiente, los marineros europeos y chinos se dieron cuenta de que un pedazo de magnetita, mineral natural magnético, al ser puesto en un palo dentro del agua, suele orientarse siguiendo la dirección de la corriente (Britannica, 2025).

Además, el motivo por el cual las brújulas magnéticas funcionan de la manera en que lo hacen es porque nuestro planeta, al tener un campo norte-sur, se comporta como un gigantesco imán de barra, el cual provoca que los imanes móviles tomen la misma dirección. La orientación del campo magnético de la Tierra no es exactamente paralela al eje norte-sur del planeta, pero está lo suficientemente cerca como para que una brújula sin corregir sirva como guía con buena precisión. La variación magnética (o declinación), también llamada

inexactitud, cambia de una región a otra del planeta. La desviación de la aguja de una brújula como resultado de las influencias magnéticas a nivel local se conoce como declinación magnética (Britannica, 2025).

2.6. Factores que afectan la precisión de una brújula

Según Aeron (2017) los objetos que generan un campo magnético, que se suman o restan al campo magnético de la Tierra, son las causas del error de hierro duro. Las fuentes de error de hierro blando, además, no generan un campo magnético propio. Como consecuencia de la distorsión del campo magnético, se produce un error. Es frecuente ver que determinados metales, como el níquel y el hierro, alteran o estiran el campo magnético, lo cual hace que la brújula magnética digital no funcione correctamente.

Según Nova (2022) indica que la calibración es el procedimiento mediante el cual se modifica un instrumento de medición para que ofrezca resultados exactos y consistentes. La exactitud es esencial en un extenso rango de usos, que van desde la salud y la investigación hasta el comercio y la seguridad. Si no se calibran apropiadamente, las mediciones pueden ser imprecisas, lo que podría resultar en serias repercusiones en cuanto a la calidad, la seguridad y el cumplimiento de las normativas.

La metrología contemporánea requiere que cada calibración cumpla con las pautas ISO/IEC 10012:2003 e ISO/IEC 17025:2017 (que determinan los requisitos para la competencia técnica de los laboratorios de calibración y para los sistemas de gestión de mediciones) y que esté avalada por trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades (SI) (ISO/IEC 17025,2017).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Mi persona Gaytan Maykoll, empecé a trabajar en Detecso SAC, realizando mantenimiento y calibración de equipos el 14 de junio del 2021 en el puesto de Técnico Metrólogo. El cual, ingrese a la empresa para realizar mi practicas preprofesional en el mismo año.

A pesar de que la compañía era pequeña en ese año, estaba creciendo constantemente y me dijeron que las funciones y todas las actividades relacionadas al puesto. Esto me impulsó a desear aún más el cargo porque tendría la oportunidad de aprender y crecer profesionalmente junto con la empresa, desarrollando nuevas capacidades como realizar nuevos procedimientos laborales, calibración y correctivos de equipos. Que posteriormente conseguí el cargo de jefe de mantenimiento el día 4 de agosto del año 2024.

Las tareas primordiales que desempeñaba como jefe de mantenimiento eran liderar y dirigir a un equipo de técnicos a mi cargo para prestar los servicios programados, así como brindar soporte técnico. Al igual que asignar tareas y garantizar que las labores se ajusten a los procedimientos de seguridad y técnicos establecidos por la compañía.

Mi persona, Jean Paul Rosales, comencé a trabajar en Detecso SAC el 01 de junio del 2022 en el puesto de técnico de mantenimiento, debido que anteriormente había realizado mis practicas preprofesionales en esa empresa y debido a eso ya me conocían mi forma de trabajar cuando realizaba mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

En ese año, a pesar que la empresa estaba en pleno crecimiento y contaba con poco personal desde su inicio, comencé realizando mantenimiento de pequeños equipos convencionales en el empresa cuando realizaba mis practicas pero cuando me contrataron me informaron que debido al aprendizaje adquirido era momento de realizar trabajos de campo el cual me motivo a seguir aprendiendo los diferentes mantenimientos que se realizaban en las

distintas sedes, donde desarrolle nuevos conocimientos en la de solucionar los problemas que se presenta y de realizar los diseños para la fabricación de piezas que se desgastan debido al trabajo que realizan y más.

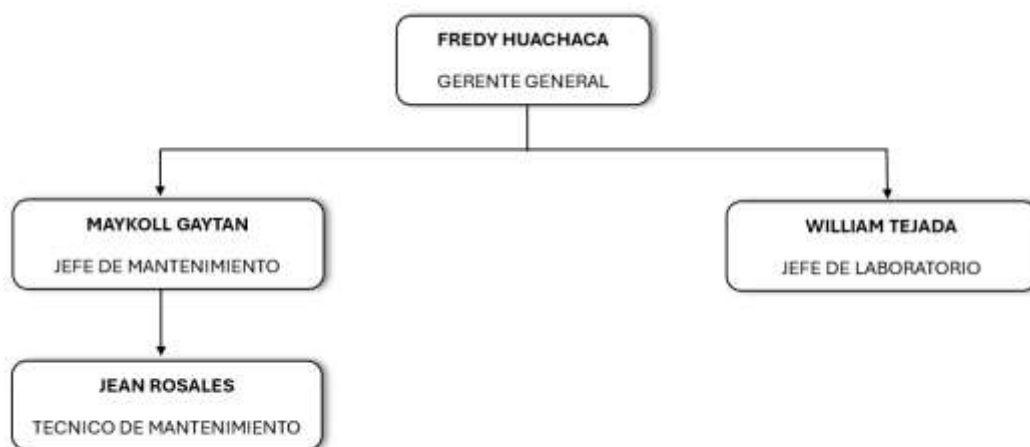
Las funciones principales como técnico de mantenimiento era proporcionar soporte técnico a los encargados de cada sede que nos enviaban para realizar mantenimiento a sus equipos, realizar la digitalización de informes detallados de los mantenimientos realizados. Después de un año realizando dichas funciones, decidieron contratar más personal para el área de mantenimiento debido al incremento de carga, en donde me indicaron que capacitara al personal sobre los trabajos que ahí se realizaban.

3.1. Matriz de involucrados del proyecto

En la propuesta de este proyecto, todos los sectores de la compañía DETECESO SAC participaron en el proceso de su desarrollo, desde la gerencia hasta los operarios, quienes jugaron un papel significativo.

Figura 4

Participantes en el proyecto



Nota. En la figura 4, se observa las personas que participaron en la propuesta del proyecto de un calibrador portátil de brújulas magnéticas.

3.2. Funciones establecidas para el personal

Maykoll Gaytan (jefe de mantenimiento):

Supervisión y cumplimiento de los trabajos.

Gestión y liderazgo del personal técnico.

Diseño de planos a fabricar.

Diagnosticar fallas y determinar acciones correctivas.

Mantenimiento y calibración en Temperatura (Hornos, Muflas, Termómetros, etc.).

Mantenimiento y calibración de longitud (Vernier, cinta métrica, micrómetro, etc.).

Seguridad y cumplimiento normativo.

Documentación y reportes.

Coordinación interáreas.

Jean Paul Rosales (Técnico de mantenimiento)

Ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos

Gestión de herramientas.

Registro y documentación de trabajos.

Mantenimiento en Temperatura (Hornos, Muflas, Termómetros, etc.).

Mantenimiento de longitud (Vernier, cinta métrica, micrómetro, etc.).

Diseño de planos a fabricar.

Fabricación de equipos mecánicos.

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo general

Proponer un calibrador portátil que permita realizar la calibración eficiente, precisa y segura de brújulas magnéticas realizadas por la empresa DETECOSO SAC.

3.3.2. Objetivos específicos

Diseñar un sistema mecánico y/o electromagnético capaz de generar posiciones angulares controladas de 0° a 360°.

Diseñar el sistema de control.

Diseño mecánico.

Evaluación económica.

3.4. Ejecución del proyecto

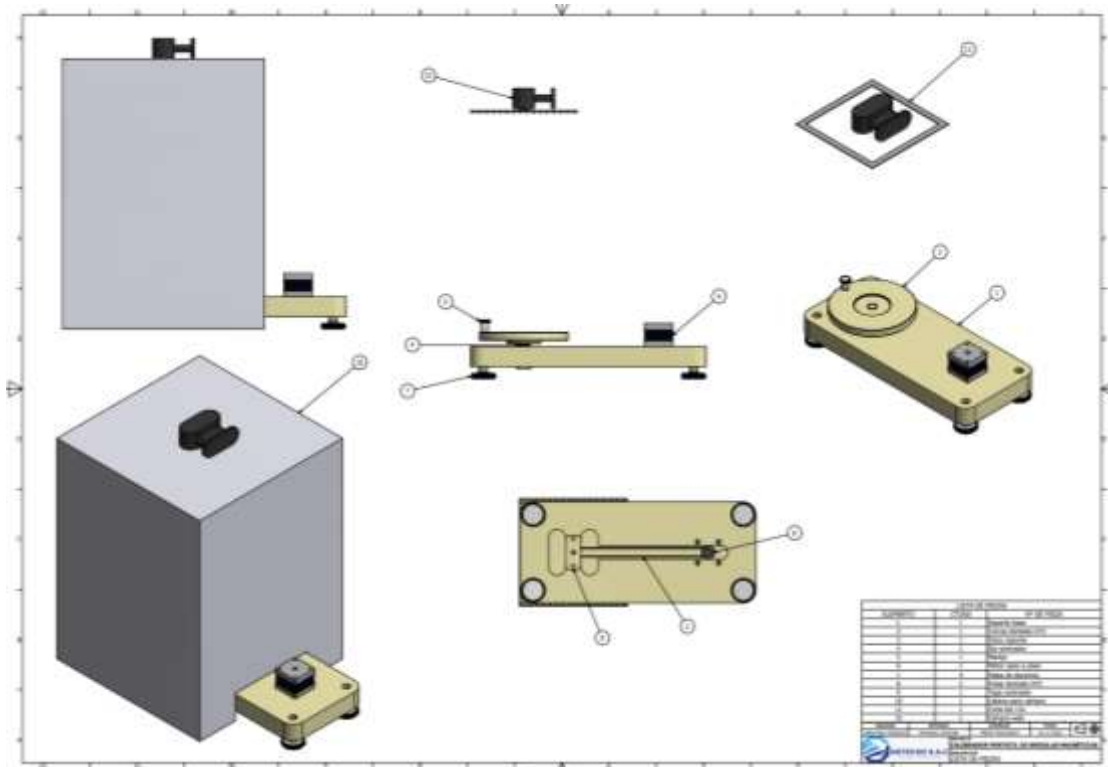
3.4.1. Diseño del sistema mecánico

La propuesta de implementar un calibrador para brújulas magnéticas en Detecoso SAC posibilitará que la independencia técnica mejore, que los costos operativos disminuyan y que se brinde un servicio más rápido, exacto y fiable. La propuesta es sustentable desde el punto de vista económico, viable desde el punto de vista técnico y sigue la línea de innovación operacional de la compañía.

Se utilizó el software Autodesk Inventor para llevar a cabo el diseño mecánico, empleando este programa se incorporaron modelos 3D de un motor paso a paso y una cabina para cámara que serán utilizados en el proyecto.

Figura 5

Plano general y lista de componentes utilizados en el proyecto

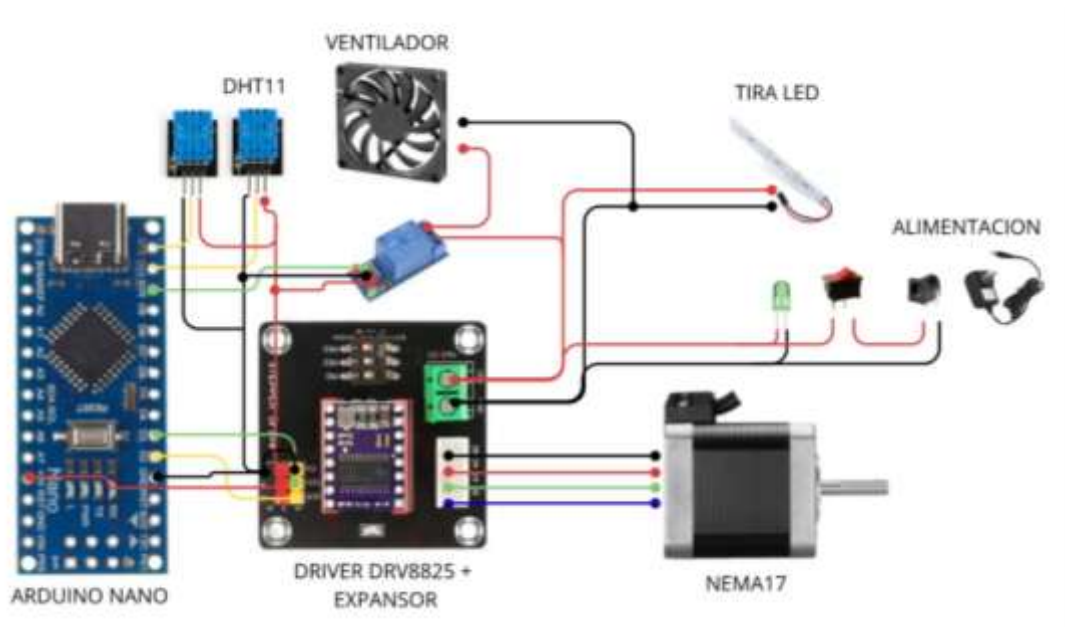


Nota. La propuesta de la máquina que se desarrollará, con sus diferentes vistas y los detalles de las piezas utilizadas, aparece en la figura anterior.

El primer paso para diseñar circuitos eléctricos y realizar las simulaciones correspondientes es seleccionar los componentes apropiados, garantizando que satisfagan lo que el diseño necesita. Es fundamental elegir componentes que estén adecuadamente modelados para el circuito que deseamos edificar. Después, se realiza el esquema eléctrico, en el que los elementos se colocan y se conectan mediante las vías, con el objetivo de lograr una disposición que sea lo más lógica y funcional posible. Para garantizar que el diseño final sea efectivo, útil y satisfaga todos los requerimientos, todo este procedimiento debe repetirse múltiples veces, haciendo ajustes y verificaciones.

Figura 6

Plano general del esquema electrónico utilizado en el proyecto.



Nota. El circuito electrónico utilizado se ilustra en la figura anterior.

3.4.2. Selección de componentes y equipos para el proyecto

Arduino Nano V3.0: Es un pequeño y adaptable circuito electrónico basado en el microprocesador Atmel ATmega 328, creado por la compañía Gravitech (USA), que ofrece una solución compacta y eficaz para interconectar sensores, controlar motores, módulos electrónicos y proyectos de automatización en distintos contextos aplicativos.

En otras palabras, la función que tiene este elemento en nuestro proyecto es ser el procesador o cerebro central del sistema por su notable estabilidad y rendimiento. Con su reloj de 16 MHz, este microcontrolador proporciona una velocidad de procesamiento elevada y una capacidad notable para manejar tareas complejas de manera organizada. Asimismo, tiene un controlador USB CH340 que asegura que se pueda conectar de manera simple a la computadora y a la programación con el IDE de Arduino, lo cual es perfecto para las aplicaciones que necesitan una conexión inalámbrica efectiva y de corto alcance.

Tabla 1

Detalles técnicos del Arduino Nano V3.0

PARÁMETRO	VALOR
Velocidad de reloj	16 MHz
Pines de E/S digitales	14 (6 pines con salida PWM)
Pines de entrada analógica	8
Corriente máxima por pin de E/S	40 mA
Voltaje de alimentación (recomendada)	7V – 12V
Memoria flash	32 KB (2 KB utilizados por el gestor de arranque)
Memoria EEPROM	1 KB
Memoria SRAM	2 KB

Nota. Detalles técnicos del Arduino Nano V3.0 empleados en el sistema controlador del equipo.

Figura 7

Arduino Nano V3.0



Nota. La figura muestra el Arduino Nano V3.0 en físico. (BDTronics, 2025)

Motor paso a paso Nema 17 (modelo JK42HS40-1704): Se trata de un motor que proporciona un rendimiento elevado en términos de torque y precisión, el cual asegura una durabilidad prolongada, una salida de torque invariable y una precisión posicional sobresaliente. Este tipo de motor se emplea en las impresoras 3D, en los equipos CNC y en

aplicaciones robóticas que normalmente necesitan un control exacto del posicionamiento. La labor que cumple este motor en el proyecto es ofrecer un control adecuado de la estabilidad durante el movimiento, lo cual es crucial para conseguir una precisión elevada en la gestión de las operaciones del sistema.

Tabla 2

Detalles técnicos del motor paso a paso Nema 17 (modelo JK42HS40-1704)

PARÁMETRO	VALOR
Ángulo de paso	1.8°
Pasos por vuelta	200
Voltaje nominal	3.6V
Corriente de fase	1.7A
Motor paso a paso	bipolar 4 cables
Torque de retención	42 N.cm = 4.2 kg·cm

Nota. Detalles técnicos del motor paso a paso Nema 17 empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 8

Motor paso a paso Nema 17 (modelo JK42HS40-1704)



Nota. La figura anterior muestra la apariencia del motor paso a paso (modelo 17HS4401) (SAISAC, 2025)

Correa de distribución GT2: La "faja de transmisión" Es un elemento muy empleado para crear un movimiento lineal entre dos ejes, además de sincronizar velocidades y tiempos. También es suave, constante y consume menos energía en este proyecto, lo que tiende a hacerlo más silencioso que otros sistemas de transmisión de potencia.

Tabla 3

Detalles técnicos de la correa de distribución GT2

PARÁMETRO	VALOR
Tipo	GT2/2GT
Paso (pitch)	2 mm
Ancho (width)	6 mm
Altura	1.38 mm
Altura del diente	0.75 mm
Material	Caucho con núcleo de fibra de vidrio (Rubber with fiberglass)
Color	Negro

Nota. Detalles técnicos de la correa de distribución GT2 empleada en el sistema controlador del equipo.

Figura 9

Correa de distribución GT2



Nota. La figura anterior muestra una correa dentada (Naylamp, 2025)

Driver de motor paso a paso DRV8825: Se trata de un controlador adaptable para motores paso a paso bipolares Nema 17. Se trata de una mejora o evolución del chip A4988, que tiene la capacidad de manejar picos de corriente de hasta 2.5A, y está basado en el DRV88225, desarrollado por Texas Instruments.

Tabla 4

Detalles técnicos del driver DRV8825

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Potencia	8V-45V DC (recomendado 12V/24V DC)
Voltaje lógico/control	3V-5V DC
Corriente de trabajo	1.5A por bobina (máx. 2.5A con ventilación)
Control de corriente	Ajustable mediante potenciómetro
Resoluciones de micropasos	Completo, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32
Interfaz de control	Paso (STEP) y Dirección (DIRECTION)
Protección de sobrecorriente y sobretensión	Si

Nota. Detalles técnicos del driver DRV8825 empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 10

Driver paso a paso DRV8825



Nota. La figura anterior muestra al driver DRV8825. (BDTronics, 2025)

Módulo adaptador para driver A4988 / DRV8825: Es una tarjeta de conexión que posibilita la regulación del motor paso a paso bipolar, pues hace posible conectar el chip del driver (A4988 o DRV8825) con un microcontrolador como Arduino. Así, este módulo cumple la función de interfaz, al ofrecer pines para el control (de dirección y paso), las conexiones del motor y la alimentación.

Tabla 5

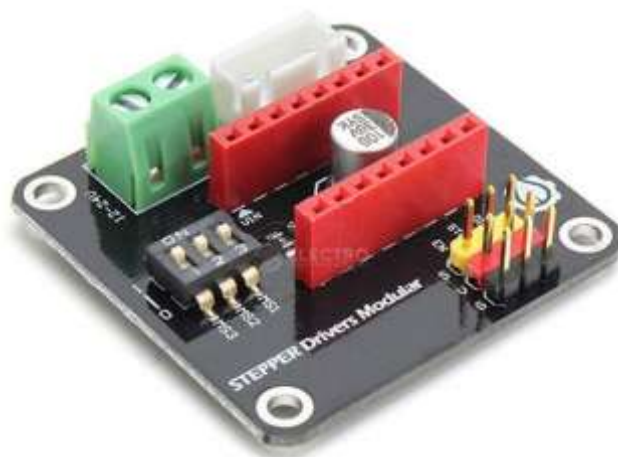
Detalles técnicos del módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825

PARÁMETRO	VALOR
Compatibilidad	Drivers A4988 y DRV8825
Tensión lógica	5V
Voltaje de entrada	12V – 24V DC
Puertos	Digital
Interfaz	Dirección, activación, velocidad

Nota. Detalles técnicos del Módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825 empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 11

Módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825



Nota. La figura anterior muestra la apariencia del Módulo adaptador para driver A4988 y DRV8825 (Electro, 2025)

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11: Es un sensor digital que combina un sensor de humedad de tipo capacitivo y otro de temperatura de tipo termistor para medir el aire circundante. Presenta la información a través de una señal digital en el pin correspondiente, no tiene salida analógica. Asimismo, se emplea en aplicaciones académicas relacionadas como la regulación automática de la temperatura, el aire acondicionado y la supervisión del medio ambiente en el sector agrícola, entre otros.

Tabla 6

Detalles técnicos del DHT11

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación	3V - 5V DC
Consumo corriente	2,5 mA
Señal de salida	Digital
Temperatura	
Rango	0°C - 50°C
Precisión	25°C ± 2°C
Resolución	1°C (8-bit)
Humedad	
Rango	20% RH - 90% RH
Precisión	0°C - 50°C ± 5% RH
Resolución	1% RH

Nota. Detalles técnicos del módulo sensor DHT11 empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 12

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11



Nota. La figura anterior muestra al sensor DHT11. (SAISAC, 2025)

Ventilador NMB-MAT: El ventilador NMB-MAT es un sistema de enfriamiento veloz que asegura una disipación adecuada del calor para cabezales de impresión 3D, componentes electrónicos y extrusores, conservando una temperatura de funcionamiento óptima para rendir bien. Asimismo, posee una durabilidad excepcional, un nivel de ruido reducido y un consumo energético mínimo.

Tabla 7

Detalles técnicos del ventilador NMB-MAT

PARÁMETRO	VALOR
Dimensiones	40x40x20mm
Tipo de ventilador	Tubeaxia
Voltaje	12V DC
Corriente	0.25A
Velocidad	11200RPM

Nota. Detalles técnicos del ventilador NMB-MAT empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 13

Ventilador NMB-MAT



Nota. La figura anterior muestra la apariencia del ventilador NMB-MAT (BDTronics, 2025)

Módulo Relé: El relé es un diminuto interruptor que se acciona de manera eléctrica y posibilita que un circuito con poca potencia controle otro con alta potencia. El módulo incluye un relé de alta calidad, producido por Songle, capaz de manejar cargas de hasta 250V/10A. Por lo tanto, entre las cargas que pueden ser controladas con este aparato electrónico se encuentran: los motores en corriente alterna y en corriente continua, las electroválvulas, los solenoides, las luces y una amplia gama de actuadores.

Tabla 8

Detalles técnicos del relé

PARÁMETRO	VALOR
Tensión de alimentación bobina	5v
Corriente de activación	15mA a 20mA
Número de canales	1
Carga máxima	10A a 250Vac o 30Vdc
Led indicador de alimentación	Rojo
Led indicador de estado	Verde

Nota. Detalles técnicos del módulo relé empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 14

Módulo relé



Nota. La figura anterior muestra el módulo relé (Electro, 2025)

Polea dentada de aluminio (modelo GT2): Es un elemento fundamental en los sistemas de transmisión de movimiento, brindando una buena precisión y un rendimiento óptimo. Asimismo, la polea dentada está hecha de una aleación de aluminio que le otorga resistencia y capacidad para soportar las exigencias del trabajo continuo, lo que le permite tener una calidad elevada y mantener siempre la precisión.

Tabla 9

Detalles técnicos de la polea dentada (modelo GT2)

PARÁMETRO	VALOR
Cantidad de dientes	20
Paso entre dientes	2mm
Diámetro externo	16mm
Diámetro interno	6mm
Altura	16mm
Ancho de los dientes	7mm
Ancho de la correa	6mm (para correas GT2)

Nota. Detalles técnicos de la polea dentada empleada en el sistema controlador del equipo.

Figura 15

Polea dentada (modelo GT2)



Nota. La figura anterior muestra la polea dentada (modelo GT2). (SAISAC, 2025)

Fuente de alimentación AC/DC 12V: Es un aparato que suministra la energía necesaria a los elementos electrónicos. La fuente de alimentación se ocupa de convertir la entrada de voltaje alterno proveniente de la red doméstica en una salida de voltaje continuo.

Tabla 10

Detalles técnicos de la fuente de alimentación AC/DC 12V

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de entrada	100V - 240V AC (50/60Hz)
Voltaje de salida	12V DC (+0.1V)
Corriente de salida máxima	5A
Potencia máxima	60W
Eficiencia de salida	80%
Temperatura de operación	-20° hasta +60°C
Peso	270 gramos

Nota. Detalles técnicos de la fuente de alimentación empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 16

Fuente de alimentación AC/DC 12V



Nota. La figura anterior muestra la fuente de alimentación empleada en el proyecto. (Naylamp, 2025)

Cámara Web (modelo ARG-WC-9140BK): Es un aparato que posibilita la transmisión en vivo de imágenes por medio de una computadora o red. Un programa o software puede ser utilizado para programar la cámara web de una computadora para que detecte y grabe automáticamente el sonido y el movimiento.

Tabla 11

Detalles técnicos de la cámara web (modelo ARG-WC-9140BK)

PARÁMETRO	VALOR
Resolución	HD de hasta 1920 x 1080 p
Rotación	(H) 90° (V) 48°
Rango de enfoque	30 cm-Infinito
Longitud óptica	22,5 mm
Distancia focal	4 mm
Profundidad de visualización	107 °
Tasa de velocidad	30 fps
Control de centelleo	50 HZ o 60 HZ
Tipo de interfaz	USB 2.0

Sensor	1/3” CMOS
Control automático	Saturación, Contraste, Nitidez, Balance de blancos y Exposición
Peso	120 g

Nota. Detalles técnicos de la cámara web empleada en el sistema controlador del equipo.

Figura 17

Cámara Web (modelo ARG-WC-9140BK)



Nota. La figura anterior muestra la cámara web (modelo ARG-WC-9140BK). (Supertec, 2025)

Cinta led: Es un aparato de iluminación que reúne múltiples chips LED en un único módulo con el fin de producir una luz uniforme y constante. La tira led tiene muchas aplicaciones, y se basa en la idea de que, si el voltaje sube, la luz se vuelve más intensa; si baja, el brillo disminuye. Esto las hace apropiadas para iluminar espacios interiores y exteriores, pues pueden instalarse en cualquier lugar: paredes, esquinas, techos o áreas pequeñas.

Tabla 12

Detalles técnicos de la cinta led

PARÁMETRO	VALOR
Watts (consumo)	50 W
Flujo Luminoso (cálculo)	1,010 Lm

Área de iluminación	de 4 a 6 m ²
Ángulo de Apertura de Luz	120° apertura
Voltaje de Entrada	12 V
Temperatura de Luz	Luz Cálida 2700K

Nota. Detalles técnicos de la cinta led empleado en el sistema controlador del equipo.

Figura 18

Cinta led



Nota. La figura anterior muestra la cinta led. (i-Lumina, 2025)

3.4.3. Desarrollo del diseño detallado de cada proceso

Este proceso determina las necesidades operativas y metrológicas del equipo:

Generar un campo magnético uniforme y controlable.

Permitir la rotación precisa de la brújula bajo calibración.

Registrar variaciones angulares con una incertidumbre mínima.

Ser portátil, liviano y de fácil armado en campo.

Rango de calibración: 0° – 360°.

Resolución angular: $\leq 0,5^\circ$.

Homogeneidad del campo magnético en el área de calibración: $\geq 95\%$.

Para calcular la longitud de la correa (L), se requiere de la siguiente ecuación:

Ecuación 1.
$$L = 2A + \frac{T}{2} \cdot (Z_1 + Z_2) + \frac{T^2}{4\pi^2 A} \cdot (Z_1 - Z_2)^2 \quad (1)$$

Donde:

A = Distancia entre ejes

T = Paso de los dientes

Z_1 / Z_2 = Número de dientes de la polea

Teniendo los siguientes datos:

A = 200 mm

T = 2 mm

Z_1 y Z_2 = 20 dientes

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$L = 2(200) + \frac{2}{2} \cdot (20 + 20) + \frac{(2)^2}{4\pi^2(200)} \cdot (20 - 20)^2$$

$$L = 440 \text{ mm}$$

Se tiene que la longitud de la correa para el proyecto es de 440mm, además las correas dentadas suelen caracterizarse por el número de dientes.

El número de dientes de la correa cerrada (N) puede determinarse mediante la relación entre la longitud de la correa y el paso de los dientes:

$$N = \frac{L}{T}$$

Donde:

L = Distancia entre ejes

T = Paso de los dientes

Teniendo los siguientes datos:

$$L = 440 \text{ mm}$$

$$T = 2 \text{ mm}$$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$N = \frac{440}{2}$$

$$N = 220 \text{ dientes}$$

La velocidad de un motor NEMA 17 tiene la posibilidad de oscilar entre cerca de 100 y 1000 RPM, pero para que sea fiable el rendimiento, la velocidad máxima efectiva no suele sobrepasar las 400 RPM. Esta se ve restringida por factores como el controlador, la aplicación particular y la electrónica. A 1000 RPM, algunos modelos pueden perder torque y precisión, sobre todo aquellos con controladores menos potentes. Utiliza la fórmula para calcular la velocidad angular en RPM (revoluciones por minuto):

Ecuación 2.
$$v = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (2)$$

Donde:

N = Velocidad en RPM

v = Velocidad angular en radianes por segundo.

Teniendo los siguientes datos:

$$N = 400 \text{ RPM}$$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$v = \frac{2\pi \cdot 400}{60}$$

$$v = 41.88 \text{ Rad/s} = 42 \text{ Rad/s}$$

Para el cálculo del par de carga (M) que viene a ser el par que el motor necesita generar para mover una carga y vencer la fricción.

Ecuación 3.
$$M = F \cdot r \quad (2)$$

Donde:

F: La fuerza aplicada a la polea (en Newtons).

r: El radio de la polea (en metros).

Para la carga de una brújula:

Ecuación 4
$$F = m \cdot g \quad (4)$$

Donde:

m: Masa (Kg).

g: Gravedad (m/s^2).

Una brújula Brunton de bolsillo pesa 195g (0.195 kg)

La gravedad $9.8 m/s^2$

Reemplazando en la ecuación:

$$F = 0.195g \times 9.8 m/s^2$$

$$F = 1.911N = 1.9N$$

Para que una brújula con carga de 1.9N debe ser movida por una polea con un radio de 0.008 metros (8mm), el par de carga es:

$$M = 1.9N \times 0.008m$$

$$M = 0.0152Nm$$

3.4.4. Presupuesto de los materiales empleados en el proyecto

3.4.4.1. Componentes electrónicos

Tabla 13

Componentes electrónicos

Componentes Electrónicos	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Arduino Nano	1	22.00	22.00
Motor paso a paso Nema 17	1	55.00	55.00
Driver DRV8825	1	11.00	11.00
Módulo adaptador para driver A4988 / DRV8825	1	8.00	8.00
Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11	2	8.00	16.00
Ventilador NMB-MAT	1	8.00	8.00
Módulo Relé	1	4.50	4.50
Fuente de alimentación AC/DC 12V	1	15.00	15.00
Cinta led	1	8.00	8.00
TOTAL (S/.)			147.50

Nota. Tomado de Expediente técnico.

3.4.4.2. Componentes del sistema de transmisión

Tabla 14

Componentes del sistema de transmisión

Sistema de transmisión	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Correa de transmisión GT2	1	10.00	10.00
Polea dentada GT2	2	10.00	20.00
TOTAL (S/.)			30.00

Nota. Tomado de Expediente técnico.

3.4.4.3. Componente audio – visual (Equipo de video)

Tabla 15

Componentes audiovisual (equipo de video)

Componente audio - video	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Cámara Web (modelo ARG- WC-9140BK)	1	125.00	125.00
TOTAL (S/.)			125.00

Nota. Tomado de Expediente técnico.

3.4.4.4. Materiales empleados para la estructura

Tabla 16

Materiales empleados para la estructura

Descripción	Materiales	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Cabina para cámara	Acrílico blanco	1	100.00	100.00
Disco soporte	Nylon	1	30.00	30.00
Eje centrador	Aluminio	1	8.00	8.00
Manija	Aluminio	1	5.00	5.00
Patas	Aluminio	4	30.00	30.00
Soporte base	Nylon	1	100.00	100.00
Tapa centradora	Nylon	1	10.00	10.00
TOTAL (S/.)				283.00

Nota. Tomado de Expediente técnico.

3.4.4.5. Mano de obra para la fabricación de las piezas

Tabla 17

Mano de obra para la fabricación de las piezas

Descripción	Materiales	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Cabina para cámara	Acrílico blanco	1	100.00	100.00
Disco soporte	Nylon	1	40.00	40.00
Eje centrador	Aluminio	1	25.00	25.00
Manija	Aluminio	1	15.00	15.00
Patatas	Aluminio	4	30.00	120.00
Soporte base	Nylon	1	150.00	150.00
Tapa centradora	Nylon	1	50.00	50.00
TOTAL (S/.)				500.00

Nota. Tomado de Expediente técnico.

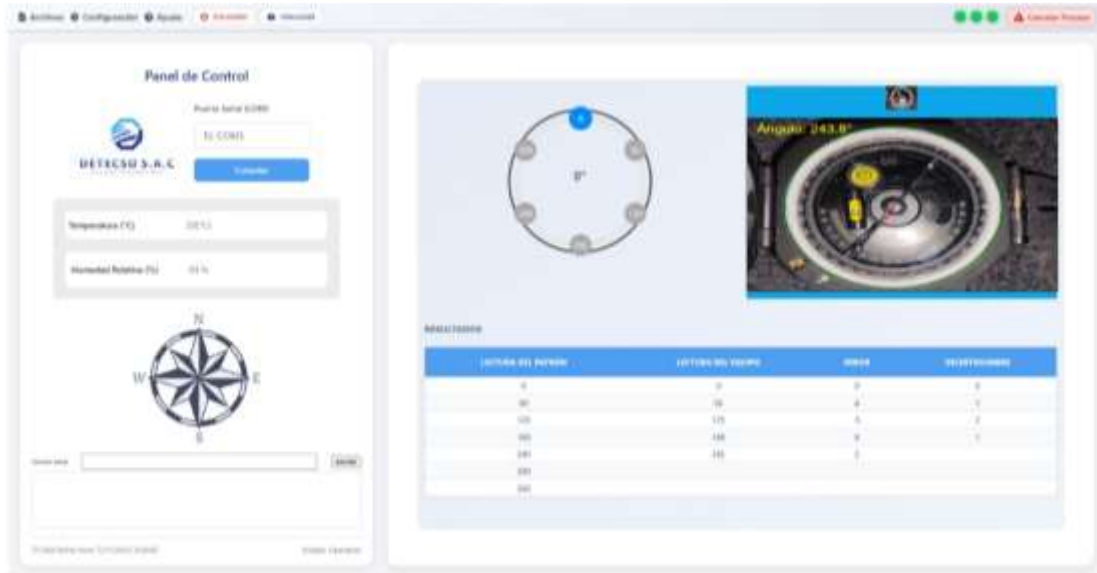
Por lo tanto, el presupuesto total de los componentes electrónicos, los componentes del sistema de transmisión, el componente audio – visual (Equipo de video), los materiales empleados para la estructura y la mano de obra para la fabricación de las piezas en la construcción del proyecto sería la cantidad de S/. 1,085.50.

3.4.5. Simulación del sistema

Se desarrolló un programa para simular el sistema de calibración, que se usará para llevar a cabo la prueba de funcionamiento. En este programa, se puede elegir el grado en el que se desea realizar la verificación de brújula magnética.

Figura 19

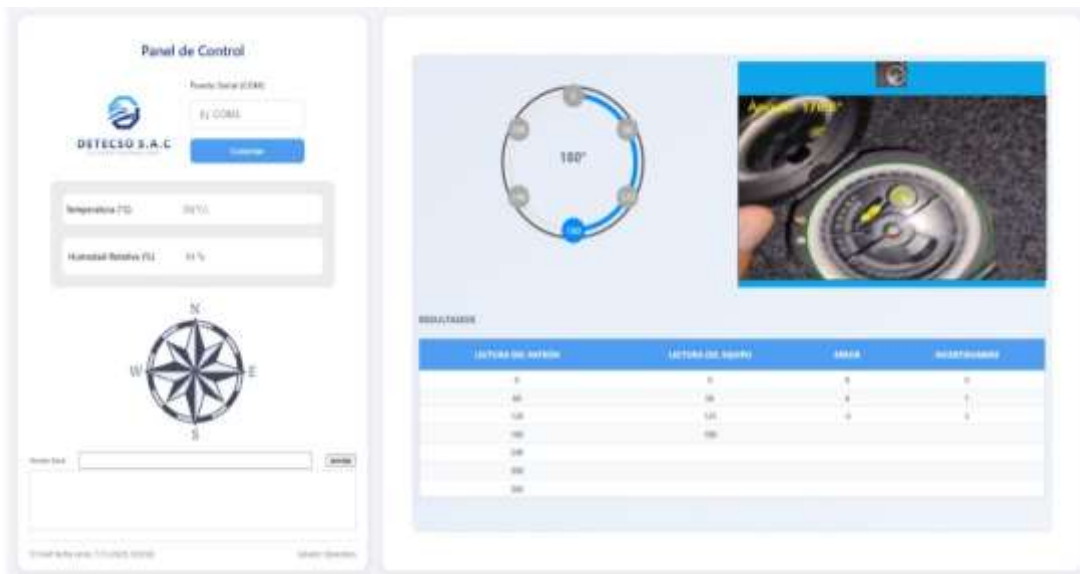
Interfaz del programa en el punto de orientación (0°- 360°)



Nota. La figura anterior muestra la interfaz del programa para la calibración de brújulas magnéticas.

Figura 20

Interfaz del programa en el punto de orientación (180°)



Nota. La figura anterior muestra la interfaz del programa para la calibración de brújulas magnéticas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Resultado del objetivo específico 1

Se creó un sistema integrado que incluye una plataforma de rotación de alta precisión. Un actuador (motor paso a paso con reductor) y un encoder absoluto de referencia son los que hacen posible el giro controlado de la plataforma mecánica, que puede ser de 0° a 360°. El sistema llegó a:

Tabla 18

Resultados obtenidos mediante el interfaz

Aspecto Evaluado	Resultado Obtenido	Descripción/Evidencia
Rango Angular alcanzado	0° – 360°	La plataforma rotativa posibilita un giro completo y constante sin la intervención de mecanismos.
Resolución Angular	0,1°	Alcanzada a través de un codificador absoluto de 12-16 bits.
Repetibilidad Angular	±0,3°	La regularidad del sistema queda corroborada por los ensayos de rotación repetitiva a intervalos de 10°.
Uniformidad del campo en la zona de trabajo	➤ 95%	Confirmado a través de mediciones en el campo, usando una malla tridimensional dentro del volumen central.
Compatibilidad con brújulas de distintos tamaños	APROBADO	La plataforma posibilita la adecuación del centrado para instrumentos de entre 100 y 150 mm.
Estabilidad durante operación	ALTA	La vibración es muy baja debido al soporte rígido y a la reducción mecánica con la cabina.

Nota. Resultados obtenidos.

4.2. Resultado del objetivo específico 2

Se estableció y prototipó la arquitectura de control distribuido, que tiene como base un Arduino nano. En donde el sistema de control incluye:

Control de posición: circuito de control para el motor paso a paso con microstepping y regulación de rampa (perfil trapezoidal). Lectura directa del encoder para comprobar la posición y calcular el error (la repetibilidad alcanzada es de $\pm 0,3^\circ$).

Sincronización y adquisición: muestreo sincronizado de sensor de temperatura, magnetómetro y codificador con timestamp; almacenamiento local (CSV) y salida a través de Bluetooth/USB.

Interfaz usuario: una API sencilla para PC (instrucciones de encendido/apagado, indicación de grado y lectura de registros) y pantalla TFT/OLED para parámetros.

Manejo de fallos: el firmware se pone en modo seguro y registra el error cuando detecta sobre corriente, temperatura crítica o ausencia de referencia.

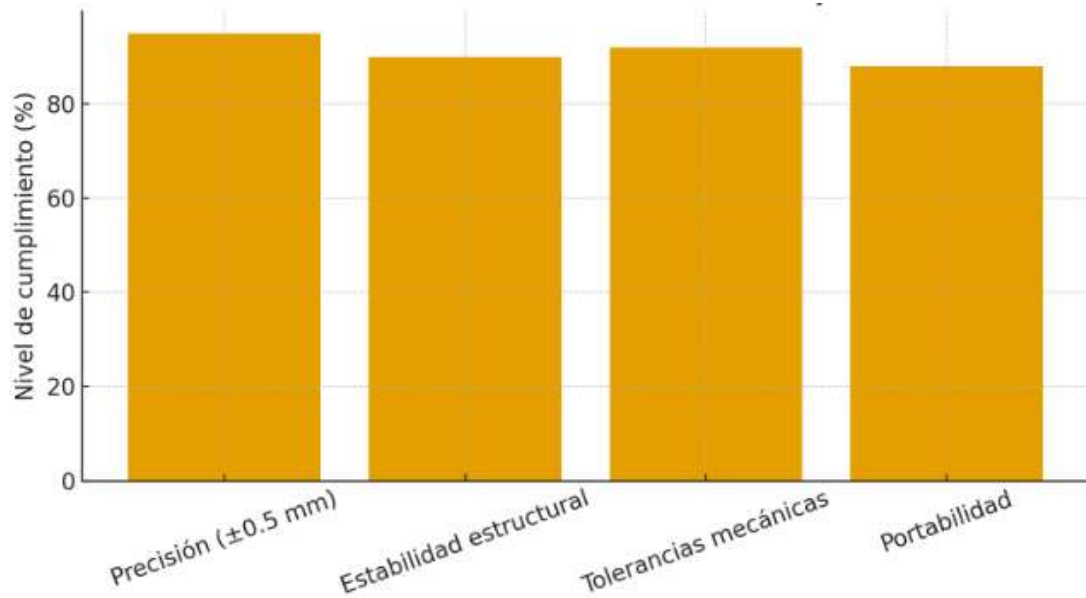
Pruebas realizadas: ciclos de 0 a 360° con intervalos de 5° que se realizan automáticamente, control de corriente con un margen de error menor al 1% y respuesta transitoria en rangos seguros.

4.3. Resultado del objetivo específico 3

Se estableció y prototipó la arquitectura de control distribuido, que tiene como base un Arduino nano. En donde el sistema de control incluye:

Figura 21

Comparación de Resultados obtenidos del diseño mecánico.



Nota. Grafica de los resultados obtenidos del diseño mecánico del calibrador de brújula.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró con la propuesta de un calibrador portátil funcional que puede generar posiciones angulares controladas entre 0° a 360° y un campo magnético homogéneo a través del driver paso a paso. El prototipo conceptual satisface las exigencias metrológicas y operativas requeridas para calibrar brújulas magnéticas de manera fiable.

Para prevenir interferencias magnéticas y asegurar la durabilidad, la portabilidad y la estabilidad de la estructura, se escogieron los materiales y componentes apropiados. La utilización de materiales no ferromagnéticos (polímeros técnicos, aluminio y acrílico) garantizó que el campo magnético creado no se deformara a lo largo de la operación.

El diseño mecánico garantizó una rotación fluida y un centrado apropiado al ofrecer una estructura liviana y estable que es compatible con diversos tipos de brújulas. La plataforma construida asegura movimientos angulares exactos con un nivel de vibración bajo y sostiene una concentricidad apropiada.

Se puede concluir que el calibrador propuesto es factible para ser implementado en la compañía Detecso SAC, dado que satisface los estándares de portabilidad, exactitud y fiabilidad necesarios para las tareas de verificación y calibración metrológica. Su posible utilización disminuiría los costos relacionados con la calibración, las dependencias externas y el tiempo de operación.

En última instancia, la propuesta representa un cimiento firme para crear un prototipo físico y permite incorporar mejoras futuras como: el registro automático digital de datos, la implementación de sensores magnéticos con resolución más alta y el desarrollo de un software específico para emitir certificados y realizar análisis.

5.2. Recomendaciones

Incorporar un sistema de control más preciso en futuras versiones, agregar actuadores con menor tolerancia angular (como motores paso a paso con microstepping o servomotores industriales de precisión) para aumentar la precisión en el cálculo de ángulos de referencia que vayan de 0° a 360°.

Aplicar perfeccionamientos en la estructura mecánica del calibrador. Para que el equipo portátil sea más ligero y para optimizar su ergonomía al ser transportado o utilizado en campo, se aconseja perfeccionar el diseño del bastidor con materiales más livianos y duraderos, como los polímeros de ingeniería o el aluminio aeronáutico.

El calibrador portátil debe someterse a pruebas de verificación metrológica cada 6 o 12 meses, garantizando que sus parámetros de precisión y repetibilidad se mantengan dentro de los criterios establecidos por la empresa y normas aplicables.

Instruir a los trabajadores técnicos de Detecso SAC: Se sugiere ofrecer capacitaciones regulares acerca del uso, el mantenimiento preventivo y los criterios de aceptabilidad del calibrador con el objetivo de reforzar la autonomía del equipo técnico.

La compañía debería implementar un documento normativo interno que estandarice los pasos del proceso que son: alineación, fijación, ajuste de ángulo y registro. Esto incrementará la fiabilidad de los resultados logrados.

Se recomienda crear una segunda edición del calibrador que incorpore visión artificial para leer de manera automática la dirección de la brújula, lo que disminuiría el tiempo de operación y optimizaría la reproducibilidad del proceso.

REFERENCIAS

- Aeron Systems. (2017). Calibration of a digital magnetic compass. Recuperado de <https://www.aeronsystems.com/articles/calibration-of-a-digital-magnetic-compass/>
- BDTronics. (2025). 3010 12 V brushless para impresora 3D. Recuperado de <https://www.bdtronics.com/3010-12v-brushless-for-3d-printer.html>
- BDTronics. (2025). Arduino Nano V3.0 (CH340). Recuperado de <https://www.bdtronics.com/arduino-nano-v3-0-ch340.html>
- BDTronics. (2025). DRV8825 stepper motor driver with aluminum heat sink.[Producto]. Recuperado de <https://www.bdtronics.com/drv8825-stepper-motor-driver-with-aluminum-heat-sink-good-quality.html>
- Carbonell, M., Flórez, M., Martínez, E., Alvarez, J. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. Revista Intrópica, 12(2), 143-159. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6769197.pdf>
- Electrocomponentes. (2025). DRV8825 driver motor paso a paso Pololu. Recuperado de <https://www.electrocomponentes.es/electronica/673-drv8825-driver-motor-paso-a-paso-stepper-pololu.html>
- Electrocomponentes. (2025). Módulo relé 5 V 1 canal 10 A 250 V (activo nivel bajo). Recuperado de <https://www.electrocomponentes.es/reles/621-modulo-rele-5v-1-canal-10a-250v-activo-nivel-bajo.html>
- Encyclopaedia Britannica. (2025). Magnetic compass. Recuperado de <https://www.britannica.com/technology/magnetic-compass>
- Gallego, M. (2021). Magnetismo terrestre: La firma en la roca [Pre-print]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Gallego-4/publication/352020690_P_R_E_P_R_I_N_T_Magnetismo_Terrestre_La_firma_en_

la_Roca/links/60b616454585154e5ef66431/P-R-E-P-R-I-N-T-Magnetismo-Terrestre-
La_firma_en_la_Roca.pdf

Ilumina. (2025). Cinta LED IP20 Strip 12 V 2700 K 50 W (5 m) – OSRAM Ledvance.
Recuperado de <https://ilumina.pe/products/cinta-led-ip20-strip-12v-27000k-50w-5mts-osram-ledvance>

ISO/IEC. (2017). ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los
laboratorios de ensayo y calibración. ISO. Recuperado de
<https://www.iso.org/standard/66912.html>

Naylamp Mechatronics. (2025.). Correa dentada GT2 W6mm. Recuperado de
<https://naylampmechatronics.com/cnc-open-source-hw/117-correa-dentada-gt2-w6mm.html>

Naylamp. (2025). Fuente de alimentación AC-DC 60 W 12 V 5 A WODE. Recuperado de
<https://naylampmechatronics.com/fuentes-switching-ac-dc/791-fuente-de-alimentacion-ac-dc-60w-12v-5a-wode.html>

Olvera, V. Calmus, T. (2022). Un experimento sencillo para ilustrar las inversiones del campo
magnético terrestre. Obtenido de
<https://encomunicacionct.geociencias.unam.mx/index.php/comunicaciongeociencias/article/view/17>

Paola, C. A., De Vito, M. A., & Dirani, L. D. (2019). Electricidad y magnetismo. Universidad
Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado de
https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/87001/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y Sedici+2libros.unlp.edu.ar+2

Ramirez, A.(2019). Campo Magnetico. Obtenido de
https://www.academia.edu/43108490/Laboratorio_de_Electricidad_y_Magnetismo_1

_UAM_A_Grupos_CCB81_Trimestre_19P

SAISAC. (2025). DHT11 con cable. Recuperado de

<https://mecatronica.saisac.pe/producto/dht11-con-cable/>

SAISAC. (2025). NEMA-17 1.7 A 4.2 kg·cm. Recuperado de

<https://3d.saisac.pe/producto/nema-17-1-7a-4-2kg-cm-inc-cable-y-tornillos/>

SAISAC. (2025). Polea dentada GT2 T20 W6 – 6 mm. Recuperado de

<https://mecatronica.saisac.pe/producto/polea-dentada-gt2-t20-w6-6mm/>

Suministros en Metrología. (s. f.). Métodos de calibración. Recuperado de

<https://suministrosenmetrologia.com/metodos-de-calibracion/>

Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT). (2025).

Consulta RUC. Recuperado de <https://e-consultaruc.sunat.gob.pe/cl-ti-itmrconsruc/jcrS00Alias>

Supertec. (2025). Cámara web FHD 1080p Argon Tech WC-9140BK. Recuperado de

<https://supertec.com.pe/detalle-productos/810/CAMARA-WEB-CAM-FHD-1080P-ARGON-TECH-WC-9140BK>

Tecorralco, J. (2020). Estudio del magnetismo sp y de la interacción entre impurezas

magnéticas en materiales de baja dimensionalidad. Tesis de grado, Benemérita

Universidad Autónoma De Puebla. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/20.500.12371/11329>

U.S. Geological Survey. What is declination? Recuperado de [https://www.usgs.gov/faqs/what-](https://www.usgs.gov/faqs/what-declination)

[declination](https://www.usgs.gov/faqs/what-declination)

Vázquez Castro, G. (2018). Magnetismo ambiental y cambio climático. Centro de

Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.

Recuperado de <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/2715>

ANEXOS

Anexo 1. *Plano general de las piezas*

Anexo 2. *Plano general de las piezas*

Anexo 3. *Plano de soporte de base*

Anexo 4. *Plano de correa dentada*

Anexo 5. *Plano del disco soporte para brujula*

Anexo 6. *Plano del eje centrador del disco del soporte*

Anexo 7. *Plano del disco de soporte*

Anexo 8. *Plano de soporte de la base*

Anexo 9. *Plano de la polea de motor paso a paso*

Anexo 10. *Plano de tapa centrador del disco*

Anexo 11. *Interfaz del programa*

Anexo 12. *Plano de los componentes electronicos*

Anexo 13. *Programación en Arduino*

Anexo 14. *Programación en Arduino*

Anexo 15. *Programación en Arduino*

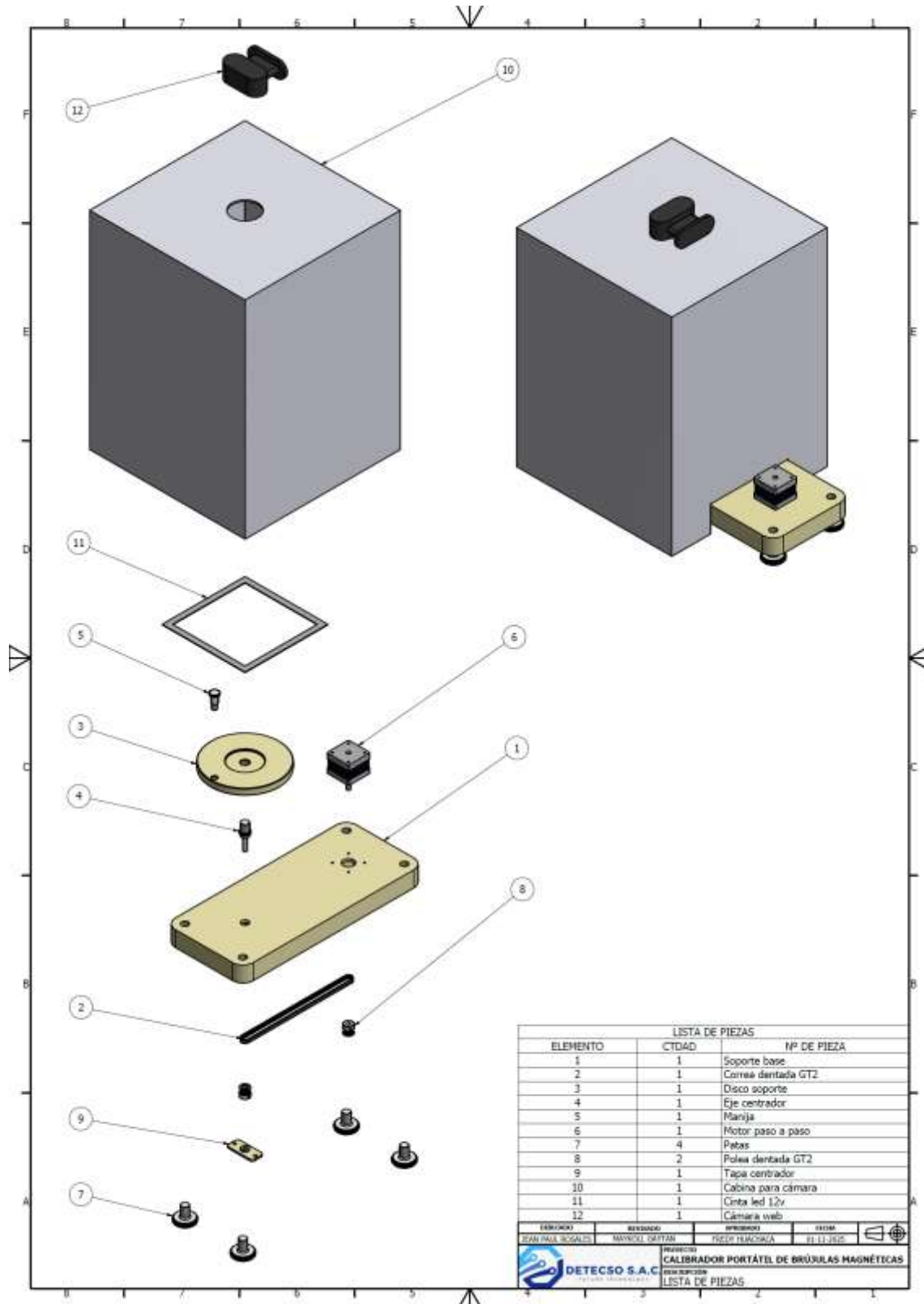
Anexo 16. *Programación en Arduino*

Anexo 17. *Programación en Arduino*

Anexo 18. *Programación en Arduino*

Anexo 1.

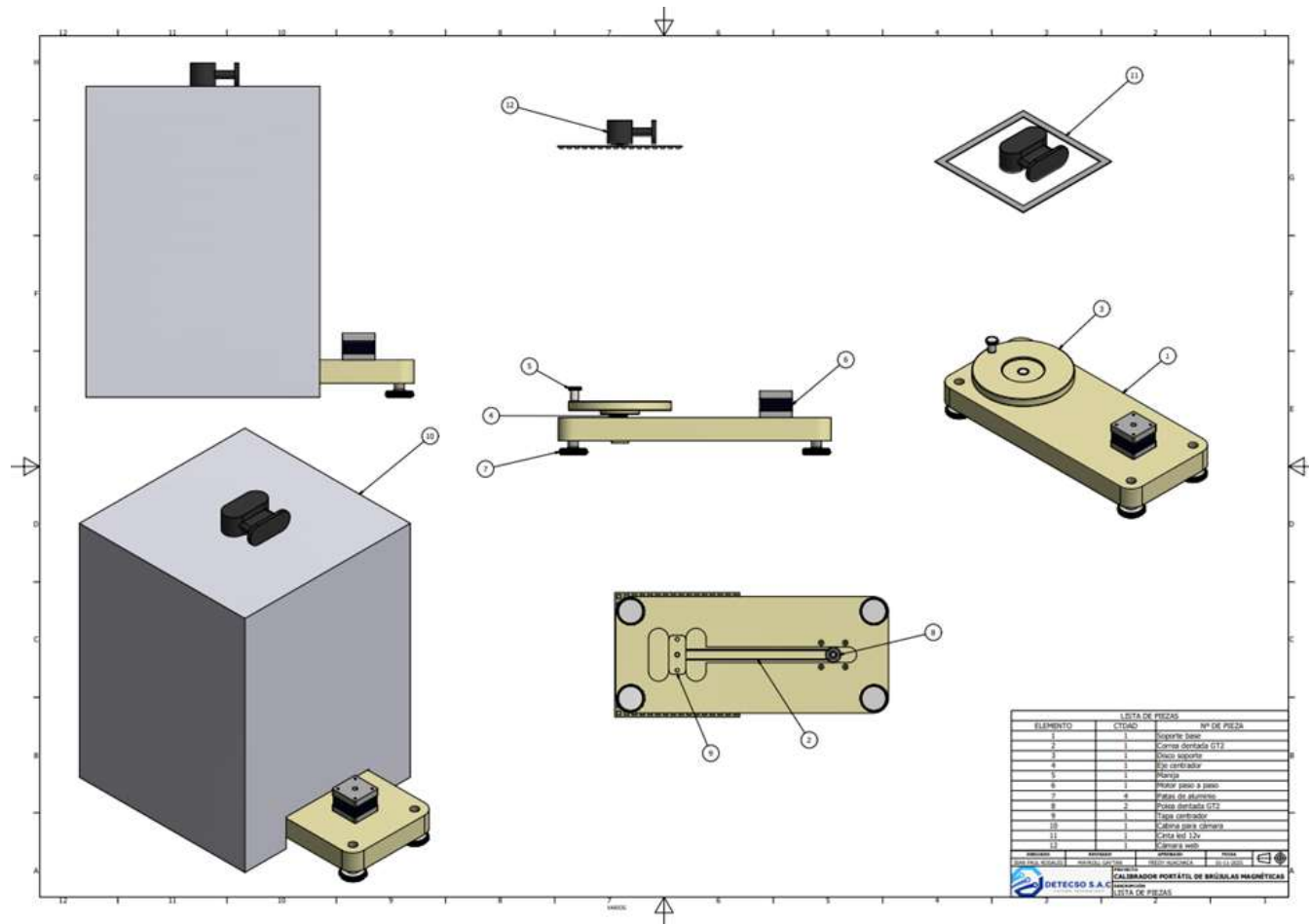
Plano general de las piezas



PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

1 Anexo 2.

2 Plano general de las piezas

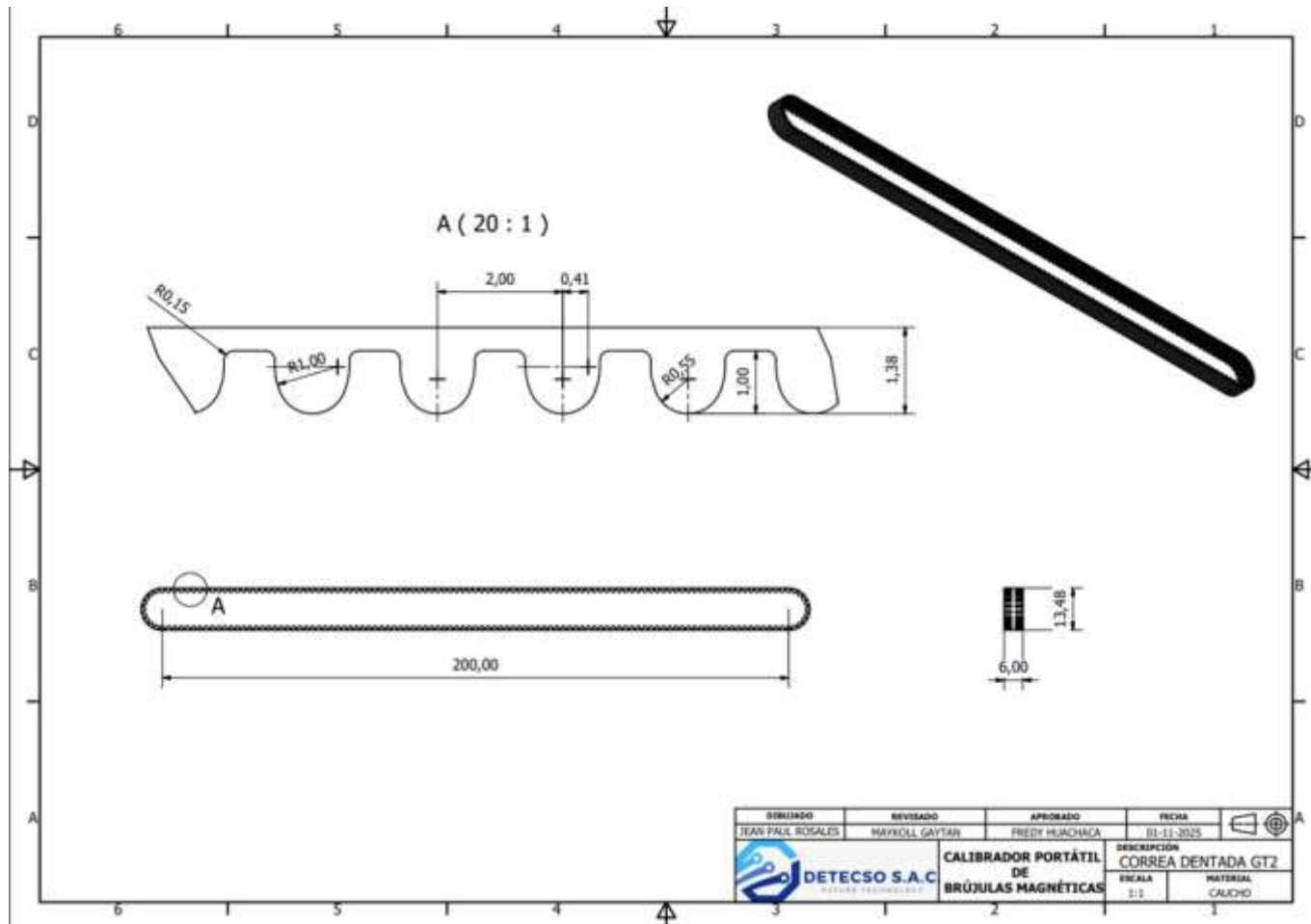


3

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETEC SO SAC – LIMA, 2025

7 Anexo 4.

8 Plano de correa dentada

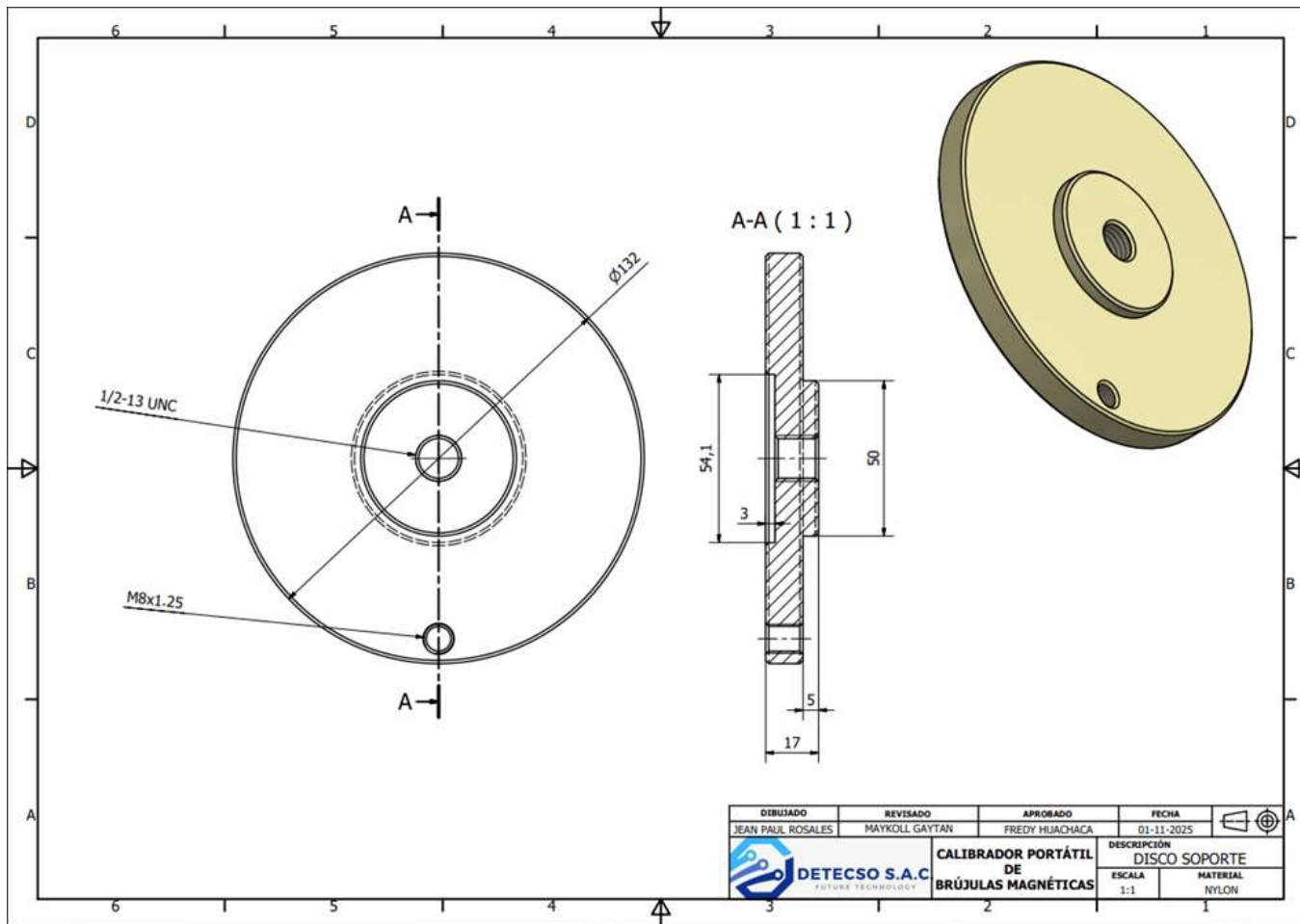


9

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETEC SO SAC – LIMA, 2025

10 Anexo 5.

11 Plano del disco soporte para brujula

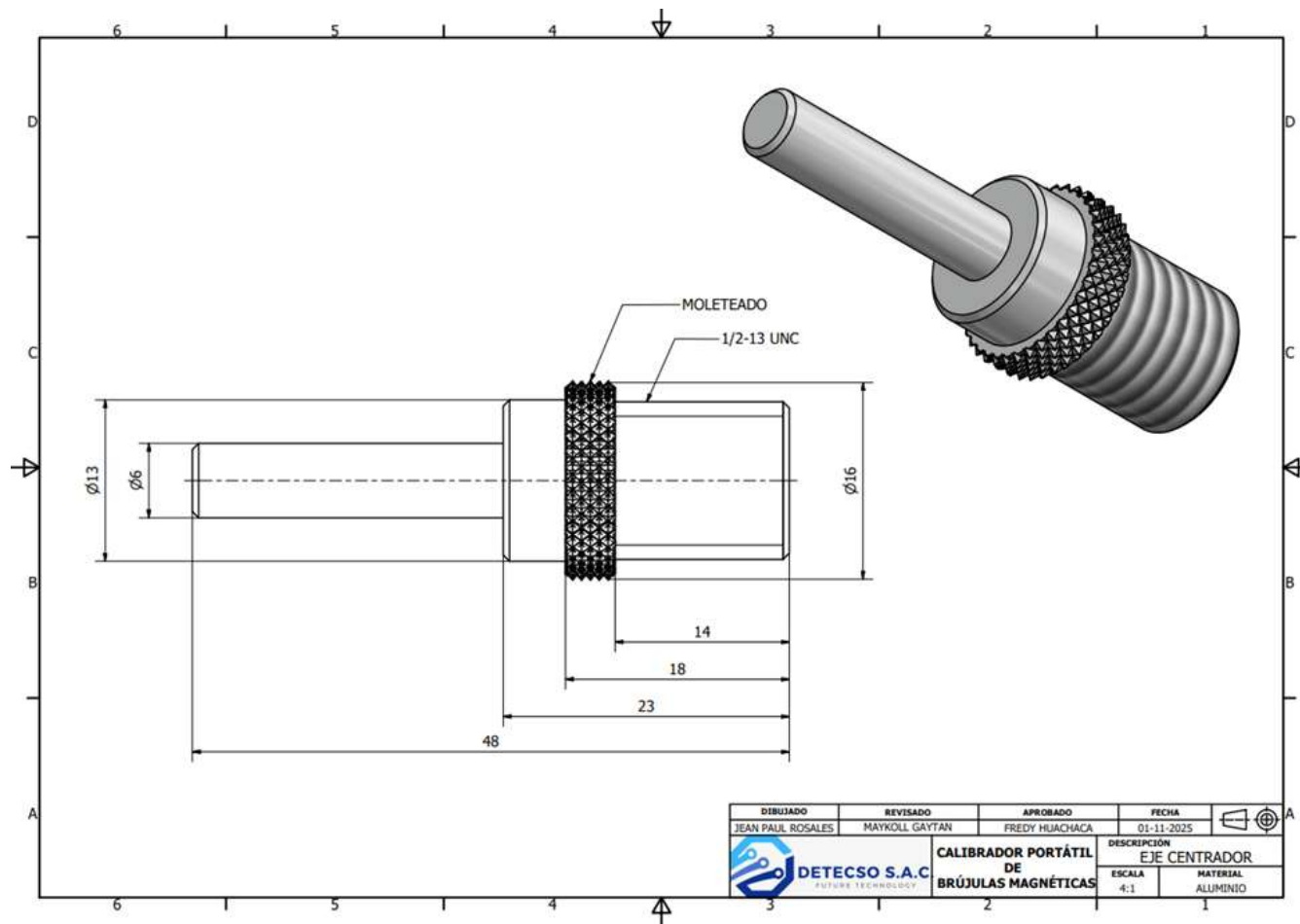


12

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETEC SO SAC – LIMA, 2025

13 Anexo 6.

14 Plano del eje centrador del disco del soporte

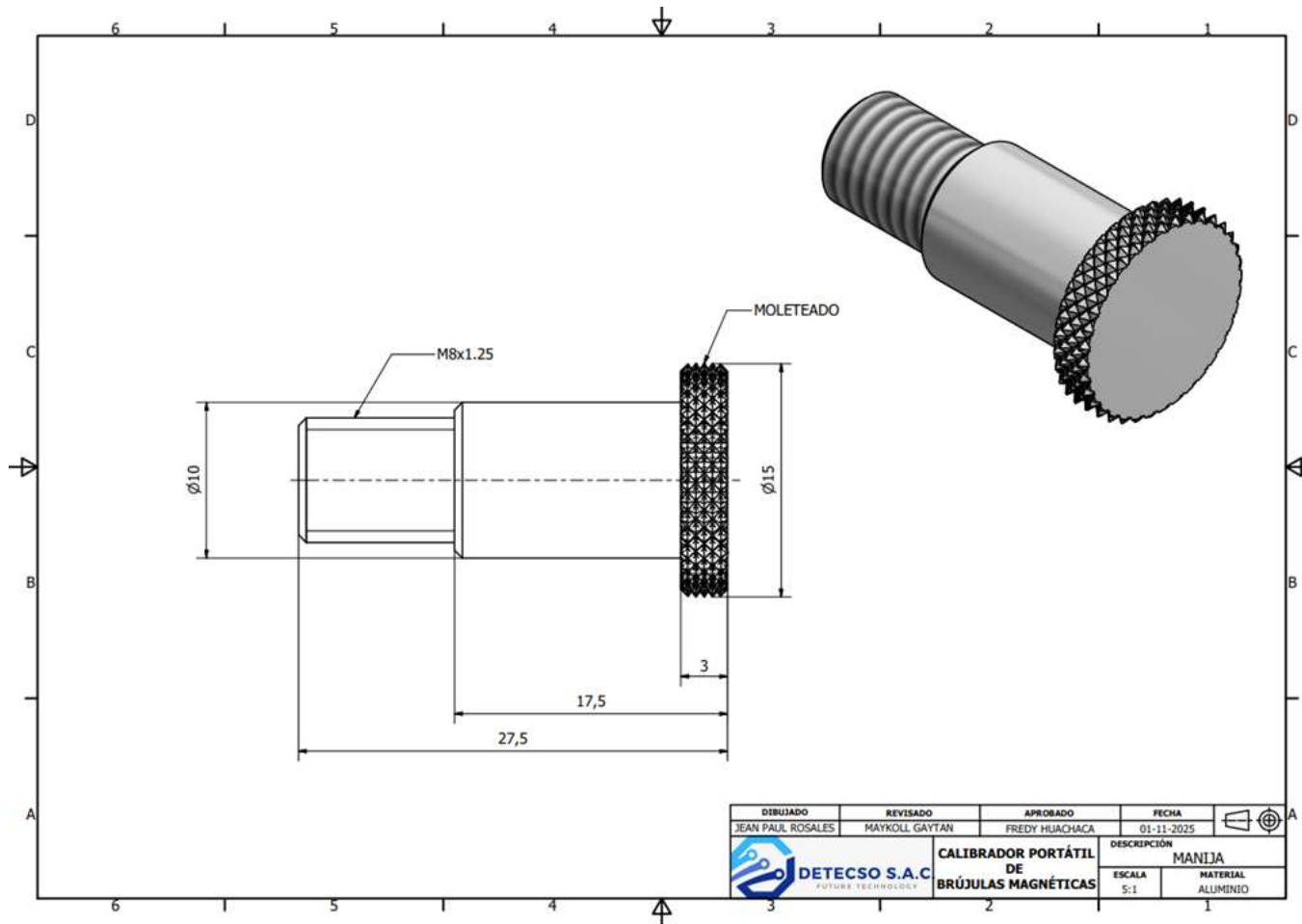


15

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETESCO SAC – LIMA, 2025

16 Anexo 7.

17 Plano del disco de soporte

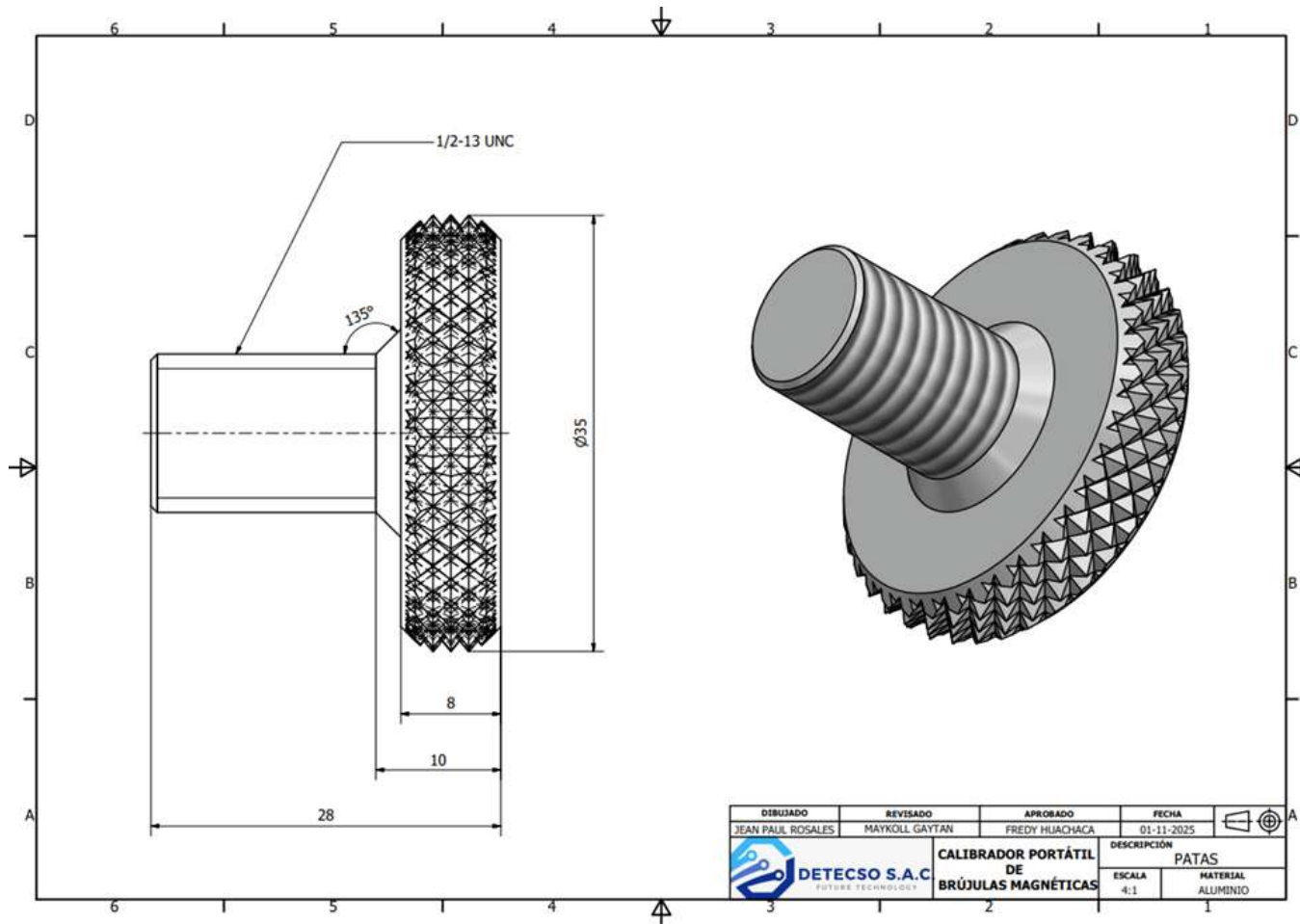


18

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETESCO SAC – LIMA, 2025

19 Anexo 8.

20 Plano de soporte de la base

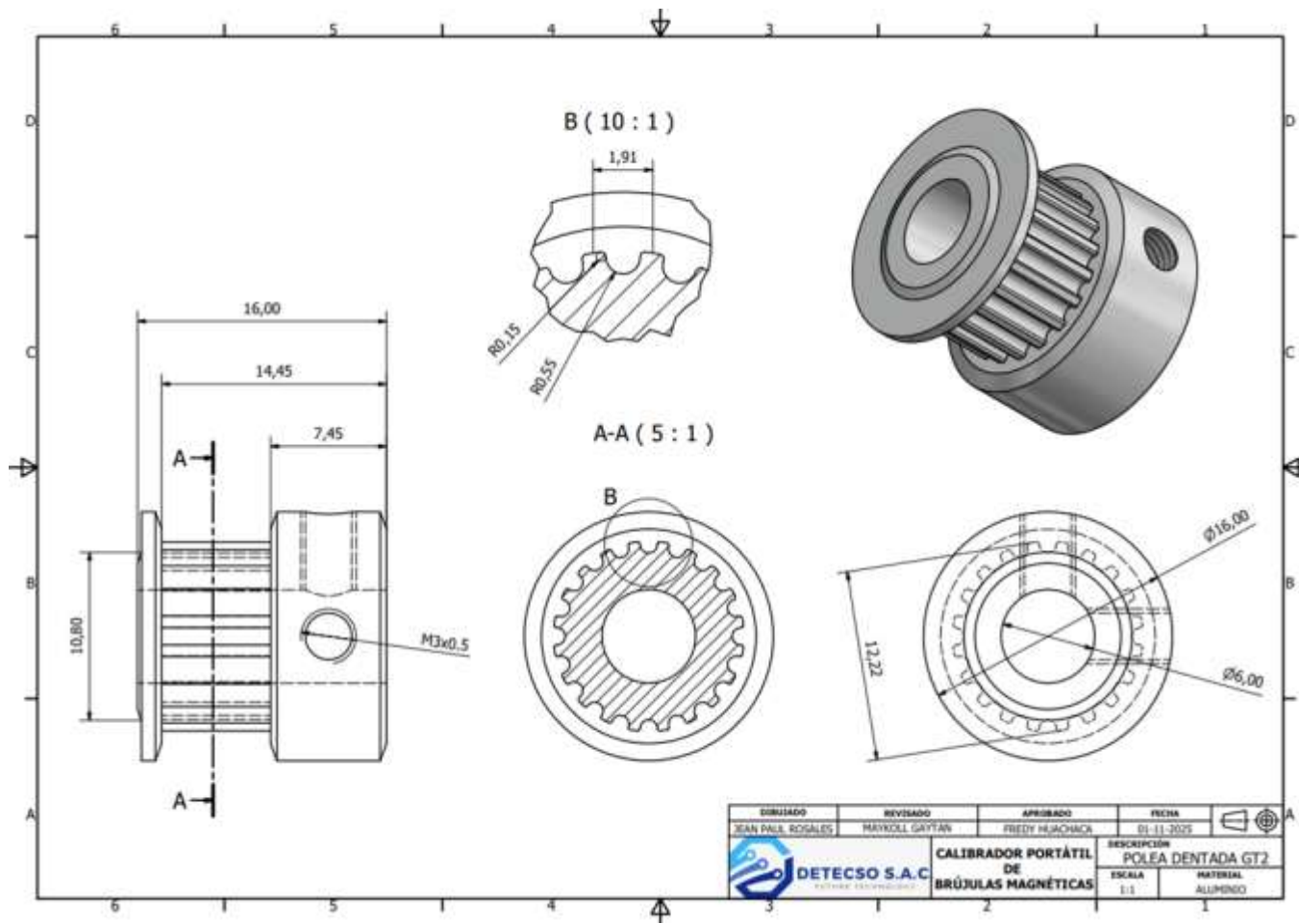


21

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETECSO SAC – LIMA, 2025

22 Anexo 9.

23 Plano de la polea de motor paso a paso

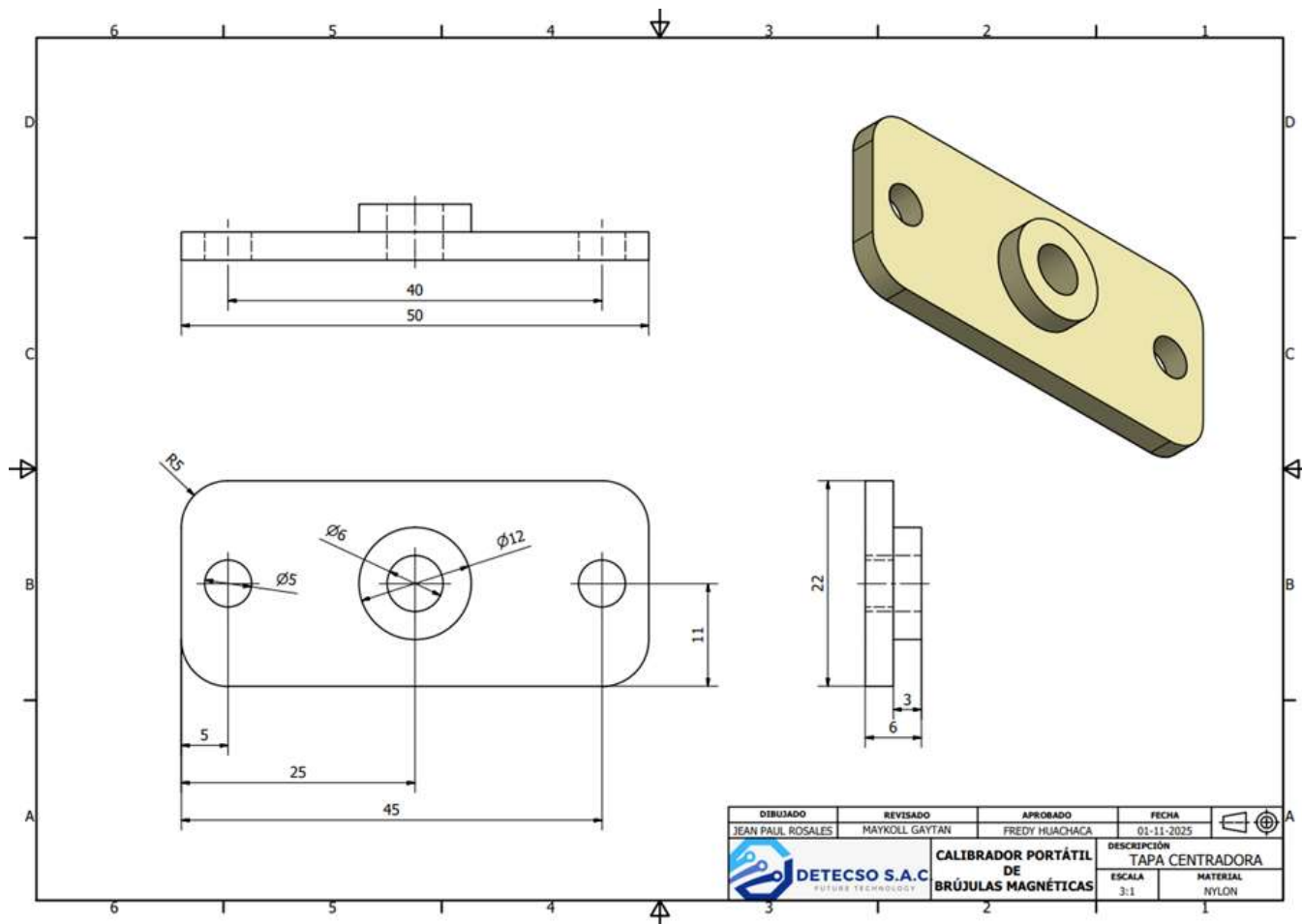


24

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETEC SO SAC – LIMA, 2025

25 Anexo 10.

26 Plano de tapa centrador del disco

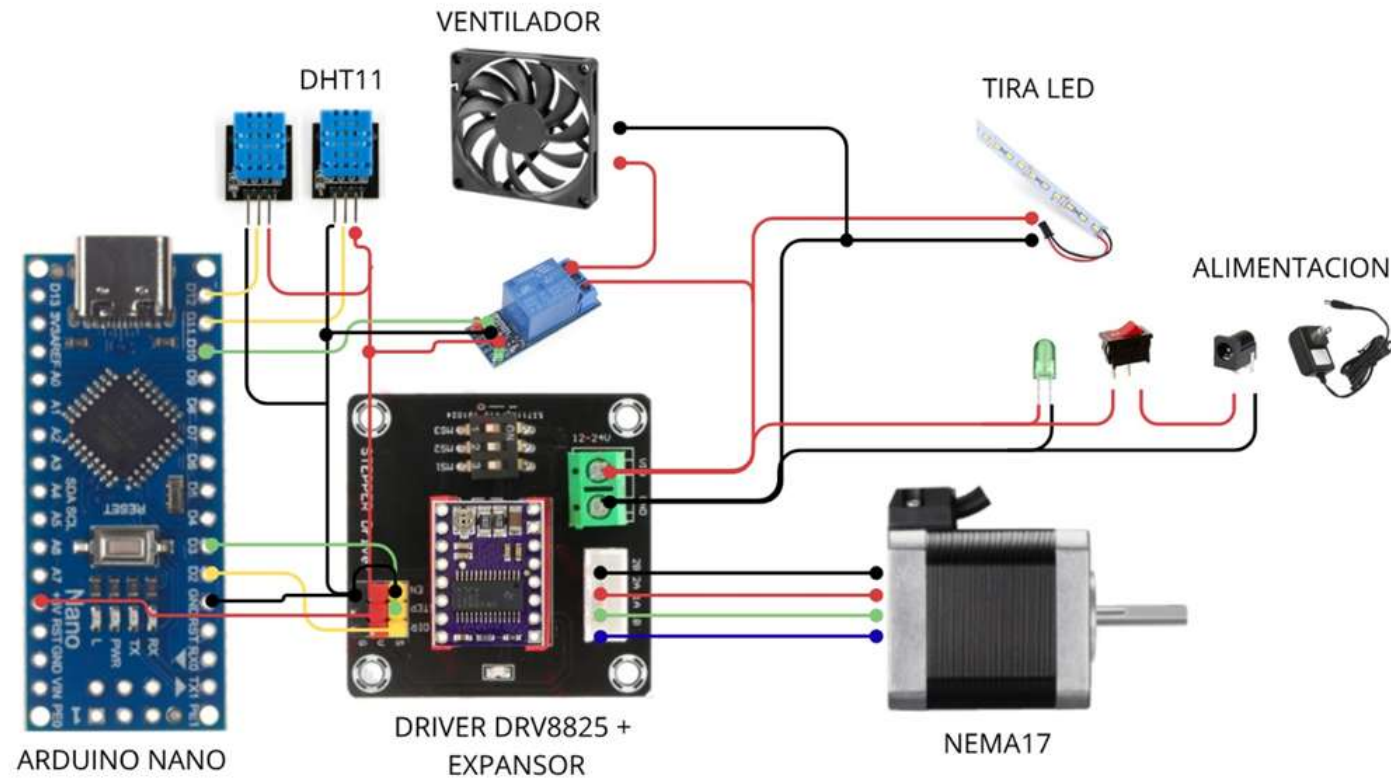


27

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

28 Anexo 11.

29 Interfaz del program



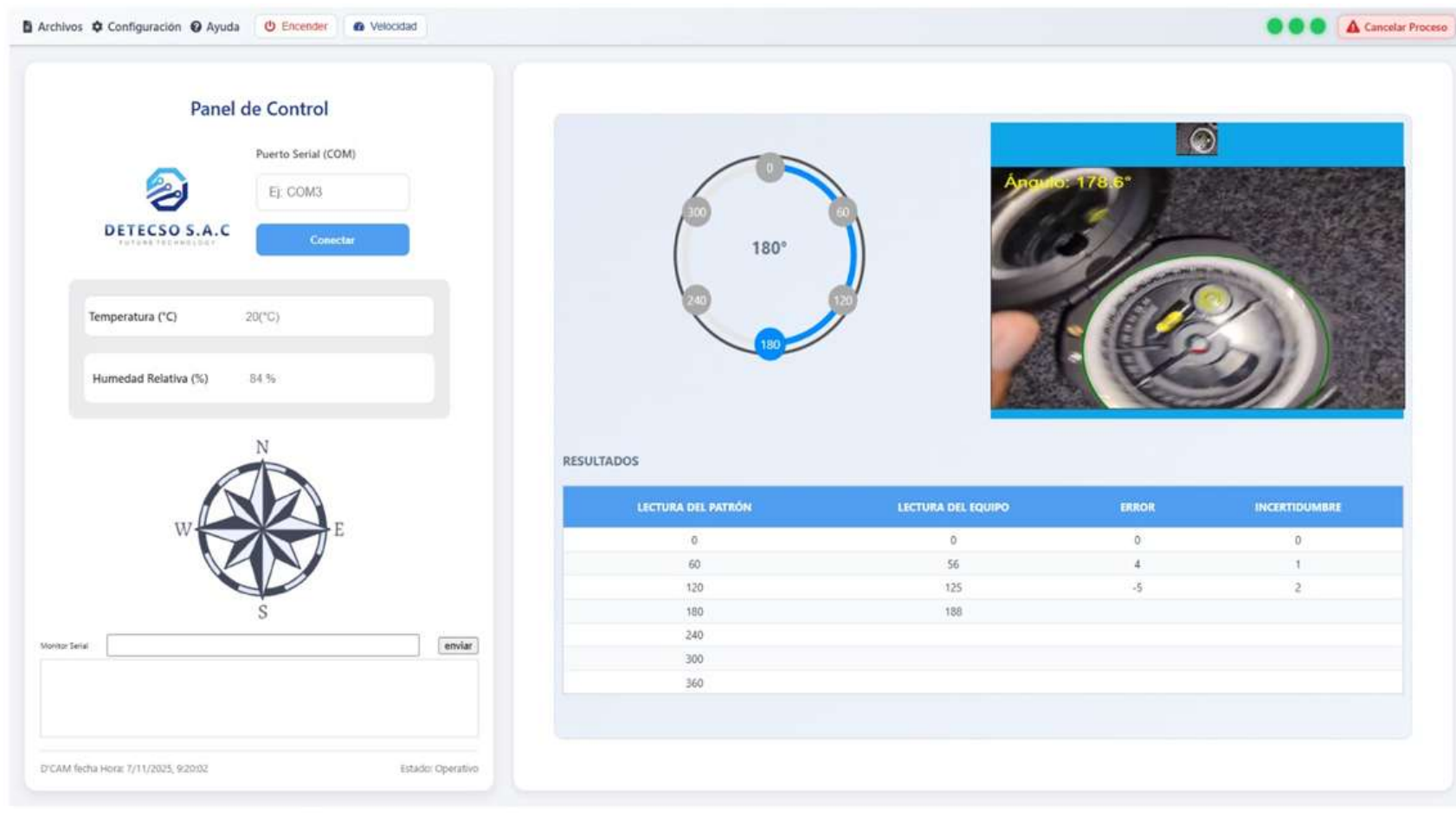
30

31

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA EMPRESA DETESCO SAC – LIMA, 2025

32 **Anexo 12.**

33 *Plano de los componentes electronicos*



34

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

35 **Anexo 13.**

36 *Programación en Arduino*



```
Calibrador_de_br_julas Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

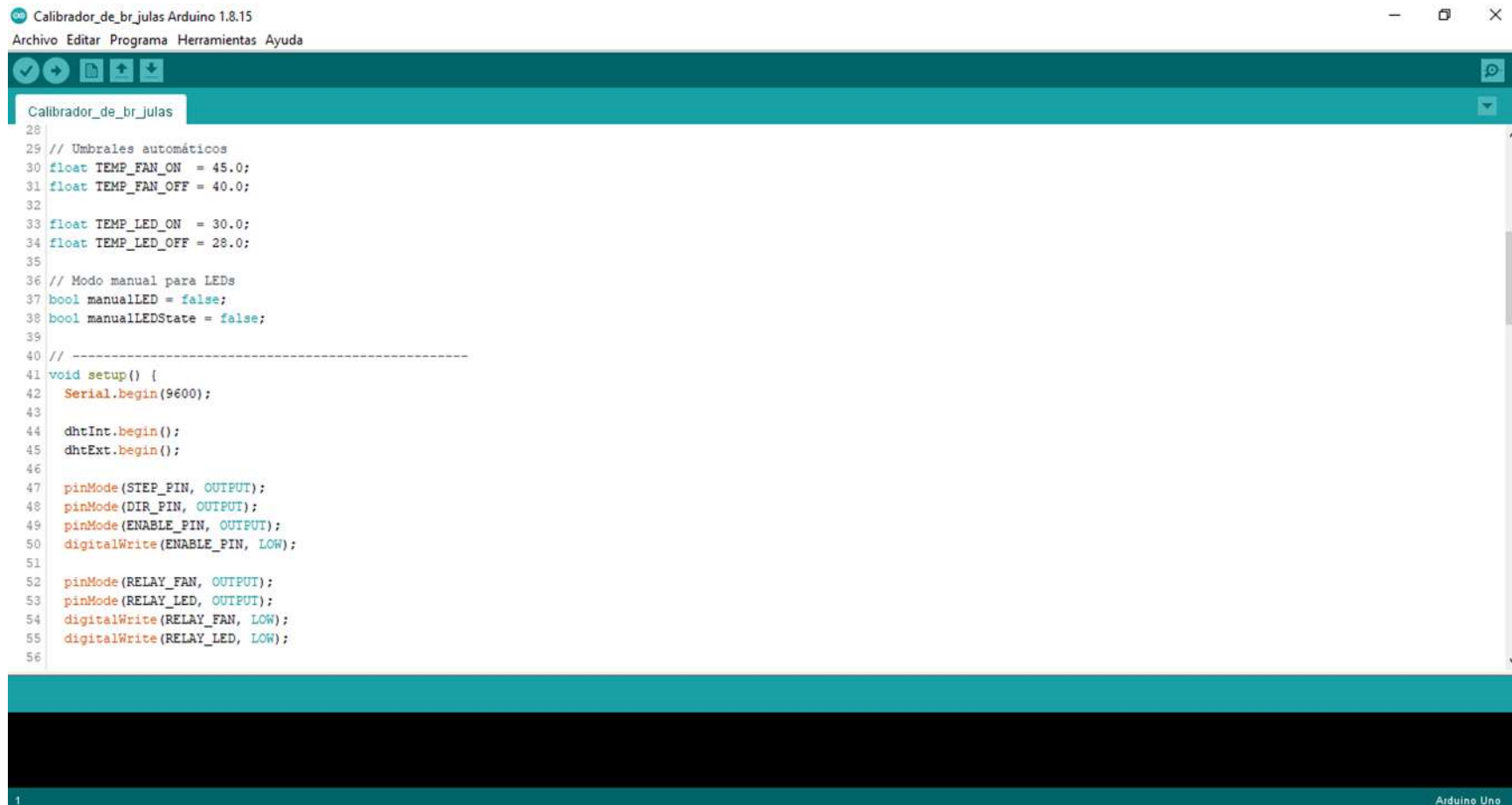
Calibrador_de_br_julas
1
2
3 #include <DHT.h>
4
5 // -----
6 // CONFIGURACIÓN DE SENSORES DHT
7 // -----
8 #define DHT_INT_PIN 7 // Sensor interno (cercano al DRV8825)
9 #define DHT_EXT_PIN 8 // Sensor externo (ambiente)
10 #define DHTTYPE DHT22 // Cambiar a DHT11 si corresponde
11
12 DHT dhtInt(DHT_INT_PIN, DHTTYPE);
13 DHT dhtExt(DHT_EXT_PIN, DHTTYPE);
14
15 // -----
16 // CONFIGURACIÓN DEL DRV8825
17 // -----
18 #define STEP_PIN 2
19 #define DIR_PIN 3
20 #define ENABLE_PIN 4
21 int delayStep = 700; // microsegundos entre pasos
22
23 // -----
24 // CONFIGURACIÓN DE RELÉS
25 // -----
26 #define RELAY_FAN 10 // Ventilador
27 #define RELAY_LED 11 // LEDs
28
29 // Umbrales automáticos
```

37

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECESO SAC – LIMA, 2025

38 **Anexo 14.**

39 *Programación en Arduino*



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is 'Calibrador_de_br_julas Arduino 1.8.15'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Programa', 'Herramientas', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for saving, running, and other functions. The main editor area displays the following code:

```
28
29 // Umbrales automáticos
30 float TEMP_FAN_ON = 45.0;
31 float TEMP_FAN_OFF = 40.0;
32
33 float TEMP_LED_ON = 30.0;
34 float TEMP_LED_OFF = 28.0;
35
36 // Modo manual para LEDs
37 bool manualLED = false;
38 bool manualLEDState = false;
39
40 // -----
41 void setup() {
42   Serial.begin(9600);
43
44   dhtInt.begin();
45   dhtExt.begin();
46
47   pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
48   pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
49   pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
50   digitalWrite(ENABLE_PIN, LOW);
51
52   pinMode(RELAY_FAN, OUTPUT);
53   pinMode(RELAY_LED, OUTPUT);
54   digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);
55   digitalWrite(RELAY_LED, LOW);
56
```

The bottom status bar shows '1' on the left and 'Arduino Uno' on the right.

40

41

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

42 **Anexo 15.**

43 *Programación en Arduino*



The screenshot shows the Arduino IDE interface with a code editor window titled "Calibrador_de_br_julas". The code is written in C++ and includes several functions and serial print statements. The code is as follows:

```
56
57 Serial.println("Sistema iniciado - DRV8825 + DHT + Relés + Serial Control");
58 Serial.println("Comandos disponibles:");
59 Serial.println(" LED ON -> Enciende LED en manual");
60 Serial.println(" LED OFF -> Apaga LED en manual");
61 Serial.println(" LED AUTO -> Control automático");
62 }
63
64 // -----
65 void moverMotorSteps(int steps) {
66   digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
67   for (int i = 0; i < steps; i++) {
68     digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
69     delayMicroseconds(delayStep);
70     digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
71     delayMicroseconds(delayStep);
72   }
73 }
74
75 // -----
76 void procesarComandosSerial() {
77   if (Serial.available()) {
78     String cmd = Serial.readStringUntil('\n');
79     cmd.trim();
80     cmd.toUpperCase();
81
82     if (cmd == "LED ON") {
83       manualLED = true;
84       manualLEDState = true;
```

44

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

45 **Anexo 16.**

46 *Programación en Arduino*



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "Calibrador_de_br_julas Arduino 1.8.15". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for saving, undo, redo, and running. The code editor displays the following code:

```
83     manualLED = true;
84     manualLEDState = true;
85     digitalWrite(RELAY_LED, HIGH);
86     Serial.println("LED ENCENDIDO (modo manual)");
87   }
88   else if (cmd == "LED OFF") {
89     manualLED = true;
90     manualLEDState = false;
91     digitalWrite(RELAY_LED, LOW);
92     Serial.println("LED APAGADO (modo manual)");
93   }
94   else if (cmd == "LED AUTO") {
95     manualLED = false;
96     Serial.println("LED en modo AUTOMÁTICO");
97   }
98   else {
99     Serial.print("Comando no reconocido: ");
100    Serial.println(cmd);
101  }
102 }
103 }
104
105 // -----
106 void loop() {
107
108   procesarComandosSerial();
109
110   float tempInt = dhtInt.readTemperature();
111   float tempExt = dhtExt.readTemperature();
```

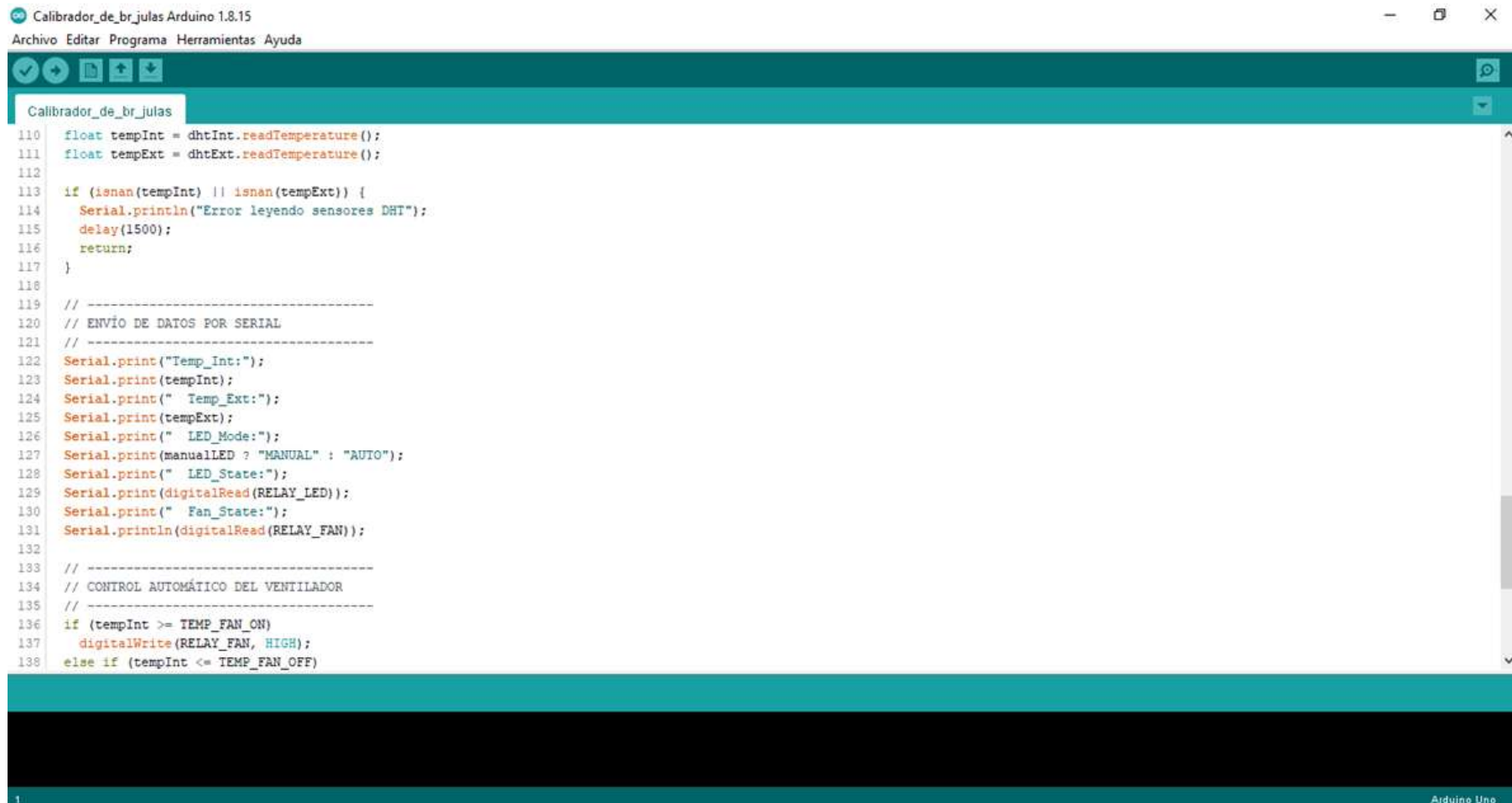
The status bar at the bottom indicates "1" on the left and "Arduino Uno" on the right.

47

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

48 **Anexo 17.**

49 *Programación en Arduino*



```
Calibrador_de_br_julas Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Calibrador_de_br_julas
110 float tempInt = dhtInt.readTemperature();
111 float tempExt = dhtExt.readTemperature();
112
113 if (isnan(tempInt) || isnan(tempExt)) {
114     Serial.println("Error leyendo sensores DHT");
115     delay(1500);
116     return;
117 }
118
119 // -----
120 // ENVÍO DE DATOS POR SERIAL
121 // -----
122 Serial.print("Temp_Int:");
123 Serial.print(tempInt);
124 Serial.print(" Temp_Ext:");
125 Serial.print(tempExt);
126 Serial.print(" LED_Mode:");
127 Serial.print(manualLED ? "MANUAL" : "AUTO");
128 Serial.print(" LED_State:");
129 Serial.print(digitalRead(RELAY_LED));
130 Serial.print(" Fan_State:");
131 Serial.println(digitalRead(RELAY_FAN));
132
133 // -----
134 // CONTROL AUTOMÁTICO DEL VENTILADOR
135 // -----
136 if (tempInt >= TEMP_FAN_ON)
137     digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
138 else if (tempInt <= TEMP_FAN_OFF)
```

50

PROPUESTA DE UN CALIBRADOR PORTÁTIL PARA LA
CALIBRACIÓN DE BRÚJULAS MAGNÉTICAS EN LA
EMPRESA DETECOSO SAC – LIMA, 2025

51 Anexo 18.

52 Programación en Arduino

```
Calibrador_de_br_julas Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Calibrador_de_br_julas
129 Serial.print(digitalRead(RELAY_LED));
130 Serial.print(" Fan_State:");
131 Serial.println(digitalRead(RELAY_FAN));
132
133 // -----
134 // CONTROL AUTOMÁTICO DEL VENTILADOR
135 // -----
136 if (tempInt >= TEMP_FAN_ON)
137   digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
138 else if (tempInt <= TEMP_FAN_OFF)
139   digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);
140
141 // -----
142 // CONTROL AUTOMÁTICO DE LEDS
143 // -----
144 if (!manualLED) {
145   if (tempExt >= TEMP_LED_ON)
146     digitalWrite(RELAY_LED, HIGH);
147   else if (tempExt <= TEMP_LED_OFF)
148     digitalWrite(RELAY_LED, LOW);
149 }
150
151 // -----
152 // MOVIMIENTO DEL MOTOR
153 // -----
154 moverMotorSteps(200); // una vuelta aprox
155
156 delay(1500);
157 }
```

Compilado
El Sketch usa 7942 bytes (24%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 653 bytes (31%) de la memoria dinámica, dejando 1395 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Arduino Uno

53