



**Diseño e implementación de un equipo para diagnosticar motores de 24 voltios de
Corriente Directa en máquinas Vending de bebidas calientes**

Jaime Humberto Romero Gaspar

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Diseño Mecánico

Asesor

Esp. Eddy Eusebio Lara Bedoya

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Diseño Mecánico
Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Romero Gaspar, 2025)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Romero Gaspar, J.H. (2025). <i>Diseño e implementación de un equipo para diagnosticar motores de 24 voltios de corriente directa en máquinas vending de bebidas calientes</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Diseño Mecánico, Cohorte I.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AC	Corriente Alterna
A/D	Análogo/Digital
BOM	Bill of Materials
CAPEX	Capital Expenditures
DC	Corriente directa
DIY	Do it Yourself
DSP	Digital Signal Processing
FCEM	Fuerza Contra Electromotriz
FEM	Fuerza Electro motriz
HMI	Human-Machine Interface (Interfaz Humano – Maquina)
IDE	Integrated Development Enviroment (Ambiente de Desarrollo Integrado)
OEM	Original Equipment Manufacturer
MSCA	Motor Current Signature Analysis
NAMA	National Automatic Merchandising Association
NRE	Non-Recurring Engineering
PWM	Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de Pulso)
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
ROI	Return on Investment
TTL	Transistor to Transistor Logic (Lógica de Transistor a Transistor)
UdeA	Universidad de Antioquia
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
VDC	Voltaje de Corriente Directa

Glosario

Acelerómetro: Sensor electromecánico que mide las fuerzas de aceleración, ya sean estáticas (como la gravedad) o dinámicas (como las causadas por el movimiento y el impacto). En el diagnóstico de motores, se utiliza para capturar el espectro de vibraciones mecánicas que revelan desalineaciones o fallas en los rodamientos.

Algoritmo: Serie ordenada de instrucciones que determinan la solución de un problema.

Arduino: Plataforma de hardware y software de fabricación italiana, utiliza el código abierto o software gratis. Es una placa integrada que tiene entradas y salidas, analógicas y digitales, su entorno de programación se basa en sistemas de programación Processing.

ATMEGA2560: Referencia del microcontrolador en la placa de ARDUINO MEGA.

Automatización: Simplificación de procesos manuales por Automáticos o mejora de un procedimiento por medio de actuadores, sensores y lazo cerrado.

BOM(Bill of materials): Documento que enumera todos los componentes, subensamblajes y materias primas necesarios para fabricar un producto.

CAPEX(Capital expenditures): Se refiere a las inversiones que una empresa realiza para adquirir, mejorar o mantener activos físicos y duraderos (activos fijos) como maquinaria, edificios, terrenos, tecnología o instalaciones, con el objetivo de generar beneficios a largo plazo, no para los gastos del día a día.

Corriente de Arranque: Es el consumo de corriente necesario para generar un campo magnético suficiente que pueda vencer la inercia presente en el Rotor, y así poder iniciar una fuerza electromagnética que luego se convertirá en Movimiento.

Dispensador: Elemento que permite la distribución o entrega de un artículo.

DIY: Componentes electrónicos preprogramados, para adaptar a un Microcontrolador por medio de instrucciones de librerías con la configuración básica de funcionamiento, utilizado en la mayoría de proyectos, investigaciones y desarrollos electrónicos.

DSP: (Procesamiento Digital de Señales): Técnica que utiliza un microprocesador o chip especializado para manipular matemáticamente señales del mundo real (como el voltaje o la corriente) después de haberlas convertido en una secuencia de números digitales. Su función es filtrar, limpiar y analizar estos datos a alta velocidad para extraer información útil que no es visible a simple vista.

Electromecánico: Mecanismo dirigido o asistido por un medio eléctrico o electrónico.

Esfuerzo Mecánico: Tensión interna a la que están sometidos los componentes físicos del motor (como el eje o los rodamientos) debido a fuerzas operativas, cargas de trabajo o vibraciones. Un esfuerzo excesivo o prolongado acelera la fatiga de los materiales y provoca fallas prematuras.

Espectro: Representación gráfica de una señal (como la corriente eléctrica) que muestra la distribución de su amplitud en función de la frecuencia. Permite descomponer una señal compleja para identificar componentes armónicos específicos asociados a fallas mecánicas o eléctricas.

Excentricidad: Desviación geométrica en la que el eje de rotación del rotor de un motor no coincide perfectamente con el eje de simetría del estator dentro de una máquina eléctrica. Esta condición provoca que el espacio de aire (entrehierro) entre la parte móvil y la fija no sea uniforme durante el giro.

Fricción (Rozamiento mecánico): Fuerza de resistencia que se opone al movimiento relativo entre dos superficies en contacto, como ocurre en los rodamientos, bujes y el sistema de conmutación (escobillas-colector) de un motor DC.

Fresh Brew: Concepto utilizado en las máquinas dispensadoras de bebidas calientes, para identificar el uso de café en grano

Fuerza Electromotriz: Es la tensión que impulsa la corriente eléctrica

Fuerza Contra Electromotriz: Es la oposición a la tensión dinámica que impulsa la corriente eléctrica, es un contraflujo de corriente eléctrica.

Hardware: Conjunto de elementos electrónicos que permiten el funcionamiento de una unidad central de procesamiento de datos.

Interfaz: Dispositivo capaz de convertir señales de un sistema a otro que facilita su comprensión.

Invasividad: Grado de alteración física o desmontaje necesario para realizar una medición en un equipo. En este proyecto, se prioriza la no invasividad (medir desde los cables de alimentación) para diagnosticar el motor sin necesidad de detener la operación crítica ni desensamblar la máquina.

IDE: Entorno de desarrollo para la programación de Arduino por medio de un software OPENSOURCE.

Microcontrolador: Circuito integrado programable, capaz de ejecutar instrucciones que son grabadas por medio de pulsos eléctricos en su memoria. Basado en lenguaje binario.

MCSA(Motor Current Signature Analysis): Análisis Espectral de la corriente, es una técnica clave de mantenimiento predictivo que se utiliza para diagnosticar el estado interno de los motores de inducción sin necesidad de desmontarlos.

NAMA: Principal asociación comercial de la industria de servicios de conveniencia en EE. UU., que abarca máquinas expendedoras, micromercados y servicios de café, y es clave para establecer estándares (como el protocolo MDB) y promover la industria Vending.

NRE(Non-Recurring Engineering): Gastos únicos e iniciales necesarios para llevar un producto desde la idea hasta la producción en masa, cubriendo investigación, diseño, desarrollo y creación

de prototipos antes de la fabricación regular, como la arquitectura electrónica, el diseño de moldes, herramientas, pruebas y certificación, siendo una inversión fundamental para la viabilidad y lanzamiento del producto.

OEM(Original Equipment manufacturer): Fabricante de Equipo Original, empresa que produce componentes o productos que luego son vendidos a otras empresas para ser comercializados bajo su propia marca.

Open-Source: Software distribuido y desarrollado de forma gratuita por fabricantes sin ánimo de lucro.

Productos Solubles: Alimentos procesados saborizados con una granulometría específica para poder ser disueltos en agua a una temperatura entre 70-90°C, para poder tener una bebida instantánea.

RAEE: Acrónimo para residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, que deben ser correctamente gestionados en su disposición final al agotar su vida útil.

ROI(Retorno sobre la inversión): Indicador financiero utilizado para evaluar la eficiencia y rentabilidad del proyecto. Mide la relación directa entre el costo de fabricación del dispositivo de diagnóstico y el ahorro económico generado por la recuperación de motores y la reducción de tiempos de mantenimiento.

Sensor: Dispositivo que recibe señales análogas, variables físicas, y realiza un proceso de conversión en unidades eléctricas para su posible lectura por un sistema electrónico.

Software: Conjunto de rutinas realizadas por una unidad central de proceso.

Torque (Par Motor): Fuerza rotacional que ejerce el motor sobre su eje para vencer una resistencia y mover una carga. En los motores de corriente continua (DC), esta variable es crítica ya que es

directamente proporcional al consumo de corriente eléctrica; a mayor torque exigido, mayor amperaje medido.

Vending: Venta de productos a través de un dispensador o máquina dispensadora.

Tabla de contenido

Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
1 Planteamiento del problema	17
2 Justificación.....	19
3 Objetivos	21
3.1 Objetivo general	21
3.2 Objetivos específicos.....	21
4 Estado del Arte	22
5 Bosquejo Esquemático	25
6 Estudio de Factibilidad.....	27
6.1. Factibilidad Técnica	27
6.1.1. Análisis de Requerimientos vs. Capacidades.....	27
6.2. Factibilidad Económica.....	28
6.2.1. Costos de Prototipado (Bill of Materials - BOM).....	29
6.2.2. Análisis Costo-Beneficio y Punto de Equilibrio.....	30
6.3. Factibilidad Legal y Ambiental.....	34
7 Conclusiones	35
8 Referencias Bibliográficas	36
9 Apéndices y anexos.....	38

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz de Cumplimiento Técnico	28
Tabla 2. Estructura de Costos del Dispositivo (Estimado en COP)	29
Tabla 3. Comparativo de Motores, costo de reparación, mano de obra y Porcentaje de Ahorro..	31
Tabla 4. <i>Comparativo de insumos y Materiales para la reparación de las 4 Referencias</i>	31

Lista de figuras

Figura 1. Plano de Ensamble General	25
Figura 2. Subensambles	26
Figura 3. Tipos de Motores para análisis en este proyecto.	31
Figura 4. Bujes, Escobillas, rodamientos utilizados para la reparación.....	32

Lista de Anexos

Anexo 1. Plano Eléctrico	38
Anexo 2. Plano de subsistemas	39
Anexo 3. Caja de Control.....	40
Anexo 4. Caja Fuente.....	41
Anexo 5. Microcontrolador.....	42
Anexo 6. Pantalla HMI	43
Anexo 7. Conexiones Motor	44
Anexo 8. Impresora TTL	45
Anexo 9. Plano de BOM Sistema de Control	46
Anexo 10. Plano de BOM Sistema de Fuente.....	47
Anexo 11. Visualización del producto terminado.....	48

Resumen

El presente trabajo propone el desarrollo de un dispositivo portátil orientado al monitoreo de variables eléctricas (potencia, corriente y tensión) en motores de 24VDC, utilizados en máquinas expendedoras de bebidas calientes. El objetivo principal es ejecutar la toma de datos en un tiempo no mayor a 15 segundos, determinando el estado funcional del motor mediante la comparación de promedios de medición frente a rangos de operación estable. Esta herramienta surge para aliviar la ausencia de métodos de validación técnica durante el mantenimiento, reduciendo la incertidumbre sobre la vida útil del componente y optimizando su reutilización masiva.

Técnicamente, el diagnóstico se fundamenta en un sistema basado en un microcontrolador que implementa un control (PWM) para regular la corriente de arranque, protegiendo así la integridad del equipo bajo prueba. El sistema digitaliza las señales mediante conversión analógico-digital (A/D) y visualiza los parámetros en una interfaz HMI. Adicionalmente, el dispositivo permite documentar los hallazgos mediante una impresión térmica adhesiva, garantizando la trazabilidad del historial de mantenimiento.

Se proyecta que la implementación de este prototipo dote al sector vending de un instrumento confiable que optimice los tiempos y costos de las inspecciones técnicas. Esta mejora no solo elevará la calidad del servicio al usuario final, sino que reducirá los costos por reemplazo de motores aún con vida útil, mitigando también el impacto ambiental al evitar el desecho prematuro de motores funcionales que carecían de una auditoría correcta.

Abstract

This study proposes the development of a portable device designed to follow electrical variables (power, current, and voltage) in 24VDC motors used in hot beverage vending machines. The primary objective is to perform data acquisition within a maximum timeframe of 15 seconds, assessing the motor's functional status by comparing measurement averages against stable operating ranges. This tool was conceived to decrease the current deficiency in technical validation methods for maintenance, thereby reducing uncertainty regarding component service life and facilitating large-scale reuse.

Technically, the diagnostic process relies on a microcontroller-based system utilizing Pulse Width Modulation (PWM) to regulate inrush current, thus safeguarding the integrity of the equipment under test. The system digitizes actuator signals via Analog-to-Digital (A/D) conversion and displays the parameters on a Human-Machine Interface (HMI). Furthermore, the device enables the documentation of findings through adhesive thermal printing, ensuring the traceability of maintenance logs.

It is anticipated that the implementation of this prototype will equip the vending industry with a reliable instrument to streamline technical inspection times and costs. This improvement will not only enhance service quality for the end-user but also also reduce the costs of replacing engines that still have a useful life, mitigating the environmental footprint by preventing the premature disposal of functional motors previously subject to inadequate auditing.

Introducción

Desde su aparición comercial en 1946 (Schreiber, 2009), los dispensadores automáticos de bebidas calientes transformaron el consumo de café, permitiendo obtener un producto mediante un proceso automatizado tras la inserción de monedas. La evolución de este concepto se aceleró en la década de 1950, cuando Estados Unidos ya contaba con más de 4.500 máquinas en funcionamiento. Sin embargo, el cambio tecnológico más significativo ocurrió en 1970 con la intervención de la empresa italiana Zanussi, adquirida luego por Electrolux, precursora del actual Necta (Group, Evoca, 2025). Esta compañía introdujo dispensadores equipados con motores capaces de triturar el grano al instante y generar la presión mecánica necesaria para controlar el tiempo de extracción. Este avance técnico permitió estandarizar el fresh brew o espresso vending, elevando la calidad del producto final.

Posteriormente, la oferta de estos dispensadores se diversificó mediante la integración de productos solubles, permitiendo preparaciones complejas como moka, mocaccino o café con leche. Para lograr la disolución correcta de estos ingredientes, la implementación de motores de 24 VDC ha sido determinante, los cuales garantizan la consistencia y textura de la bebida. En el panorama actual, fabricantes europeos como Bianchi, Rheavendors y Azcoyen lideran el mercado global implementando estas tecnologías (Hostel Vending, 2024).

Desde una perspectiva técnica, el motor de 24 VDC actúa como un componente transversal en la mayoría de las marcas y modelos. Es común que distintos fabricantes compartan las mismas referencias de actuadores al abastecerse de proveedores OEM, centrandose en la interfaz de usuario y la conectividad. En las listas de materiales (BOM) de estos equipos, los motores de corriente continua son omnipresentes. Debido a su facilidad de montaje y a un coste de reposición que oscila entre 20 y 60 euros (Central del Vending, 2025), la industria ha priorizado históricamente la sustitución correctiva frente a la reparación, optimizando así los tiempos de inactividad.

El impacto de esta dinámica se refleja en varios países, y no ajeno en el mercado colombiano, el cual ha reportado crecimientos anuales cercanos al 30% (Diario Occidente, 2025).

Se estima un parque instalado de 35.000 máquinas, de las cuales 15.000 corresponden a bebidas calientes. Considerando que cada equipo integra entre 3 y 12 motores DC, se calcula la existencia de más de 90.000 actuadores en operación. Ante este volumen masivo, surgen interrogantes técnicos sobre la vida útil real de los componentes y la viabilidad de implementar mantenimientos preventivos que extiendan su durabilidad.

Dada la naturaleza electromecánica de estos motores, el desgaste en el sistema de escobillas y colector exige supervisión. Sin embargo, la validación actual en campo suele limitarse a una verificación funcional binaria (funciona/no funciona), ignorando variables críticas como el consumo de corriente o la potencia, lo que oculta el estado real del componente. Esta carencia es crítica en un mercado que tiende a la concentración empresarial, donde grandes operadores gestionan flotas superiores a las 40.000 máquinas (Hostel Vending, 2024). En este escenario, depender de diagnósticos subjetivos resulta ineficiente.

En respuesta a esta necesidad, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un dispositivo portátil de diagnóstico para motores de 24 VDC. Esta solución tecnológica permitirá la adquisición precisa de datos eléctricos, el análisis de variables frente a rangos de operación seguros y la generación de reportes físicos. Con ello, se busca establecer un estándar técnico que fundamente la toma de decisiones, reduzca la incertidumbre en el diagnóstico de motores reemplazados en la operación y que van directamente a desecho eléctricos, permitiendo la reutilización fiable de los mismos y puedan volver a estar presentes en el inventario de repuestos como funcionales y certificados, además de optimizar la gestión de activos en el sector vending.

1 Planteamiento del problema

La consolidación del modelo de venta automática (vending) en la economía nacional, impulsada por la presencia de fabricantes globales y el robustecimiento de distribuidores especializados como CI.Talsa, Inssa y Diveco entre otros, ha derivado en una infraestructura operativa de gran escala. Grandes operadores como Autosnack y el Grupo Nutresa (a través de Novaventa) han industrializado el servicio, gestionando parques que oscilan entre los 4.000 y 15.000 dispensadores respectivamente (Autosnak, 2025), (Novaventa, 2025). Sin embargo, esta expansión masiva ha traído consigo un desafío proporcional en términos de soporte técnico: la gestión de decenas de miles de componentes electromecánicos operando simultáneamente.

Dentro de este ecosistema técnico, los motores de corriente continua (24 VDC) representan el componente crítico de la operación. Estos actuadores son los responsables directos de las funciones vitales de la máquina: desde el bombeo de fluidos y el accionamiento de molinillos, hasta la dosificación de solubles y la liberación del producto final. Su selección por parte de los fabricantes obedece a su eficiencia en el control de velocidad y su compatibilidad electrónica; no obstante, las condiciones de trabajo en campo son hostiles. Al operar al interior de dispensadores de bebidas calientes, estos motores están expuestos a temperaturas internas que oscilan entre 50 °C y 98 °C, además de altos niveles de humedad relativa. Este ambiente acelera la degradación de elementos internos como rodamientos, lubricantes y, especialmente, el sistema de conmutación (escobillas y colector), incrementando la probabilidad de falla por fricción y oxidación.

A pesar de la alta incidencia de fallos en estos componentes, el sector carece de una estrategia de mantenimiento sostenible. La práctica predominante ante una avería o sospecha de falla es el reemplazo correctivo inmediato y el desecho de la unidad. Esta cultura de "usar y tirar" responde a dos factores: primero, la inexistencia de un mercado local de repuestos internos para estos motores, cuyos diseños propietarios obligan a depender de importaciones costosas y lentas; y segundo, la falta de herramientas de diagnóstico en campo. Actualmente, el personal técnico no cuenta con medios para medir objetivamente el desgaste del motor; la validación es empírica y subjetiva.

Esta carencia tecnológica genera un círculo infinito de ineficiencia: se descartan motores que podrían ser reparados o reutilizados por falta de una validación certera. La dependencia tecnológica externa y los tiempos de importación de repuestos agravan la situación en caso de no tener disponibilidad inmediata, provocando tiempos prolongados de inactividad que impactan la rentabilidad del operador.

En consecuencia, la problemática central de esta investigación es la inexistencia de un instrumento de metrología portátil capaz de determinar el estado real y la vida útil remanente de los motores de 24 VDC. Actualmente, estos activos son reemplazados bajo criterios subjetivos y desechados prematuramente como residuos electrónicos. Esta limitación impide que el sector vending transite de un modelo costoso de compra constante hacia estrategias sostenibles de recuperación de activos.

De acuerdo con lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo desarrollar un sistema portátil de diagnóstico que permita validar de manera efectiva el estado operativo de los motores de 24 VDC en máquinas vending, garantizando la confiabilidad técnica para su reutilización?

2 Justificación

La pertinencia de este proyecto reside en la urgencia de transformar el paradigma de gestión de motores de 24VDC en el sector vending. Se busca transitar de un modelo insostenible de sustitución y desecho inmediato, hacia uno de recuperación basada en medición estandarizada, facilitando así la reinserción funcional de estos componentes. Ante la actual inexistencia de herramientas de metrología específicas en campo, este dispositivo llena un vacío instrumental crítico, dotando al personal técnico de criterios objetivos para la toma de decisiones.

Desde una perspectiva operativa y económica, la validación precisa impacta directamente en la estructura de costos. Al discriminar técnicamente entre motores recuperables y aquellos que requieren descarte, se reduce en el largo plazo el costo de reparación de los activos consolidados, se optimiza la gestión de inventarios y se reduce la dependencia de importaciones. Esto libera capital de trabajo y extiende la vida útil de los activos, blindando la operatividad de los dispensadores frente a la escasez de repuestos o demoras logísticas, y optimizando el recurso.

En el ámbito técnico, el dispositivo aporta valor al proteger la integridad electrónica del dispensador. Dado que un motor degradado demanda corrientes de arranque y operación excesivas que ponen en riesgo las tarjetas de control, el diagnóstico preventivo de estos actuadores evita costosas averías en cascada. Simultáneamente, asegurar el rendimiento óptimo del motor garantiza la calidad del producto final, preservando los estándares de presión y mezcla percibidos por el usuario.

Finalmente, la justificación ambiental y social se alinea con los principios de la economía circular. Frente a la cultura de "usar y tirar" descrita en la problemática, esta solución tecnológica fomenta la reutilización y mitiga la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Asimismo, minimiza la huella de carbono asociada a la manufactura y logística internacional de nuevos repuestos.

En síntesis, el diseño e implementación de este equipo no solo resuelve una carencia técnica inmediata, sino que establece un precedente de ingeniería para la profesionalización del

mantenimiento en el sector, equilibrando la rentabilidad del negocio con la responsabilidad ambiental.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un instrumento de diagnóstico para motores de 24 VDC en dispensadores de bebidas calientes, mediante la medición de tensión, corriente y potencia, con el fin de certificar su operatividad frente a estándares de rendimiento equivalentes a nuevo, maximizando así la recuperación funcional de los activos y mitigando el impacto ambiental del desecho tecnológico.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema integral y portátil de diagnóstico que articule una etapa de potencia con arranque suave (PWM) y sensores de precisión, gestionados por un firmware de control con interfaz HMI para el procesamiento de datos, la validación frente a rangos operativos y la emisión automatizada de reportes físicos.
- Establecer los criterios de validación técnica mediante la caracterización de motores nuevos y usados, definiendo un rango de aceptación con tolerancia del 10% respecto al valor nominal, para determinar automáticamente la viabilidad operativa o el descarte responsable del activo a través del reporte impreso.
- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación del dispositivo mediante un análisis de costo-beneficio, determinando el punto de equilibrio y el retorno de la inversión (ROI) en función de la tasa de recuperación de activos y la reducción de costos operativos demostrada en las pruebas experimentales.

4 Estado del Arte

Tras una revisión en bases de datos académicas y repositorios técnicos como Elsevier, ScienceDirect, NAMA, se evidencia una carencia significativa de investigaciones orientadas específicamente al desarrollo de instrumentación portátil para la certificación de motores de 24VDC en el sector vending. Esta ausencia de antecedentes directos subraya la novedad de la presente propuesta y la oportunidad de adaptar técnicas de diagnóstico industrial a un formato de bajo costo y alta portabilidad.

El mantenimiento predictivo establece que las fallas mecánicas en motores de corriente continua (DC) tienen un reflejo directo en su comportamiento eléctrico. Según investigaciones en análisis espectral de corriente (MCSA), defectos como el desgaste de rodamientos, la excentricidad del eje o el deterioro de las escobillas generan armónicos específicos y, fundamentalmente, un incremento en el consumo de corriente para vencer la fricción adicional. Por lo tanto, el monitoreo de Voltaje, Corriente y Potencia se presenta como el método más eficiente para inferir el estado mecánico del actuador sin necesidad de intervenciones invasivas ni desmontajes complejos.

La elección de estas variables eléctricas como indicadores de salud mecánica encuentra sustento en investigaciones recientes sobre mantenimiento predictivo. (LLORENTE, 2022), en su estudio sobre la detección de degradación en rodamientos, establece que las anomalías mecánicas, tales como el aumento de fricción o excentricidades, generan perturbaciones en el campo magnético que se reflejan directamente en el espectro de la corriente de alimentación. Aunque su investigación se centra en motores de inducción, el principio físico es transversal a las máquinas rotativas: la corriente actúa como un transductor inherente del torque y el esfuerzo mecánico.

Asimismo, destaca una ventaja operativa crucial del análisis de corriente (MCSA) frente a la tradicional medición de vibraciones: la no invasividad. Mientras que los acelerómetros exigen montajes mecánicos precisos y calibraciones complejas in situ, la medición de corriente permite diagnosticar el actuador accediendo únicamente a su cableado de alimentación. Este hallazgo respalda técnicamente el diseño de la presente propuesta, validando que un dispositivo portátil conectado a las líneas de 24VDC ofrece una relación costo-beneficio superior para el diagnóstico

de campo en máquinas vending, permitiendo detectar fallos críticos —como el desgaste de rodamientos, que representa hasta un 42% de las averías totales en motores eléctricos (LLORENTE, 2022) sin necesidad de desmontajes mecánicos intrusivos.

Para el diseño de un dispositivo portátil orientado al mantenimiento de campo, la selección de variables debe obedecer a un criterio de costo-efectividad y pertinencia operativa. En este contexto, variables comúnmente monitoreadas en la industria pesada, como la vibración, la temperatura o las revoluciones por minuto (RPM), han sido desestimadas para esta aplicación específica bajo los siguientes argumentos técnicos:

Exclusión de la Variable Temperatura: Los motores de dispensadores de bebidas operan bajo regímenes de funcionamiento intermitente y de corta duración (ciclos menores a 30 segundos). Dado que la inercia térmica de los materiales bobinados requiere tiempos prolongados para manifestar sobrecalentamientos detectables, la medición de temperatura en una prueba rápida de 15 segundos no aporta datos concluyentes sobre la degradación del motor, resultando en un parámetro irrelevante para diagnósticos instantáneos.

Exclusión de Medición Directa de RPM: Aunque la velocidad angular es un dato útil, su medición directa exige la instalación de sensores invasivos (encoders ópticos o de efecto Hall) o el uso de tacómetros láser que complican la operativa del técnico en campo. Para la aplicación de batido y dosificación, las variaciones menores de RPM no afectan la percepción de calidad del producto final (espuma o mezcla). Además, en motores DC, una caída significativa de velocidad por falla mecánica está intrínsecamente correlacionada con un aumento proporcional en el consumo de corriente (Torque); por ende, esta variable eléctrica actúa como un indicador indirecto suficiente, eliminando la necesidad de sensórica adicional y reduciendo el costo final del prototipo.

Exclusión de Análisis de Histéresis y Vibración: Si bien estos análisis ofrecen gran precisión, requieren hardware de procesamiento avanzado (DSP – Digital signal processor) y acelerómetros que encarecerían injustificadamente el dispositivo. Dado que el objetivo es validar la operatividad básica y no realizar caracterizaciones de laboratorio, la relación costo-beneficio de estas variables resulta negativa para el alcance del proyecto.

Para la selección de la unidad central de procesamiento (CPU) del dispositivo propuesto, se ha optado por tecnología basada en microcontroladores de arquitectura abierta (tipo Arduino), priorizando la versatilidad y la disponibilidad de repuestos sobre la electrónica propietaria cerrada. Esta decisión no obedece únicamente a criterios económicos, sino que encuentra sustento técnico en estudios comparativos de instrumentación. (Saucedo, 2018), en su análisis sobre el desempeño de tarjetas de desarrollo como instrumentos de medición, demostró que la estabilidad y precisión del convertidor analógico-digital (ADC) en plataformas estándar y sus variantes genéricas ("clones") se mantienen dentro de las especificaciones técnicas requeridas para la medición de variables físicas, con un error despreciable.

Este hallazgo es fundamental para la presente investigación, pues valida la hipótesis de que no es indispensable recurrir a electrónica industrial de alto costo para obtener diagnósticos fiables en motores de corriente continua. (Saucedo, 2018) concluye que factores externos, como la calidad de la fuente de alimentación y el blindaje de las conexiones, tienen un impacto mayor en la calidad de la medición que la marca del microcontrolador en sí.

Por lo tanto, la implementación de sensores DIY gestionados por este tipo de hardware permite democratizar la tecnología de diagnóstico en el sector vending. Al basar el dispositivo en una arquitectura estandarizada globalmente, se facilita la actualización del firmware ante la aparición de nuevas referencias de motores en el mercado y se garantiza la escalabilidad del instrumento, permitiendo transitar de un prototipo académico a una herramienta comercial de actualización diaria sin barreras de entrada tecnológicas.

En conclusión, el estado del arte actual valida la pertinencia de centrar el diagnóstico en las variables de entrada eléctrica, basándose en dispositivos de control comerciales como es la plataforma ARDUINO, permitiendo desarrollar una solución robusta, económica y adaptada a la realidad logística de los operadores de vending, tomando como referencia las mediciones de Voltaje, corriente y Potencia de motores nuevos de 24 voltios, como base fundamental, para determinar la operatividad de los motores medidos en el dispositivo, indicando como aptos y no aptos.

5 Bosquejo Esquemático

Figura 1. Plano de Ensamble General

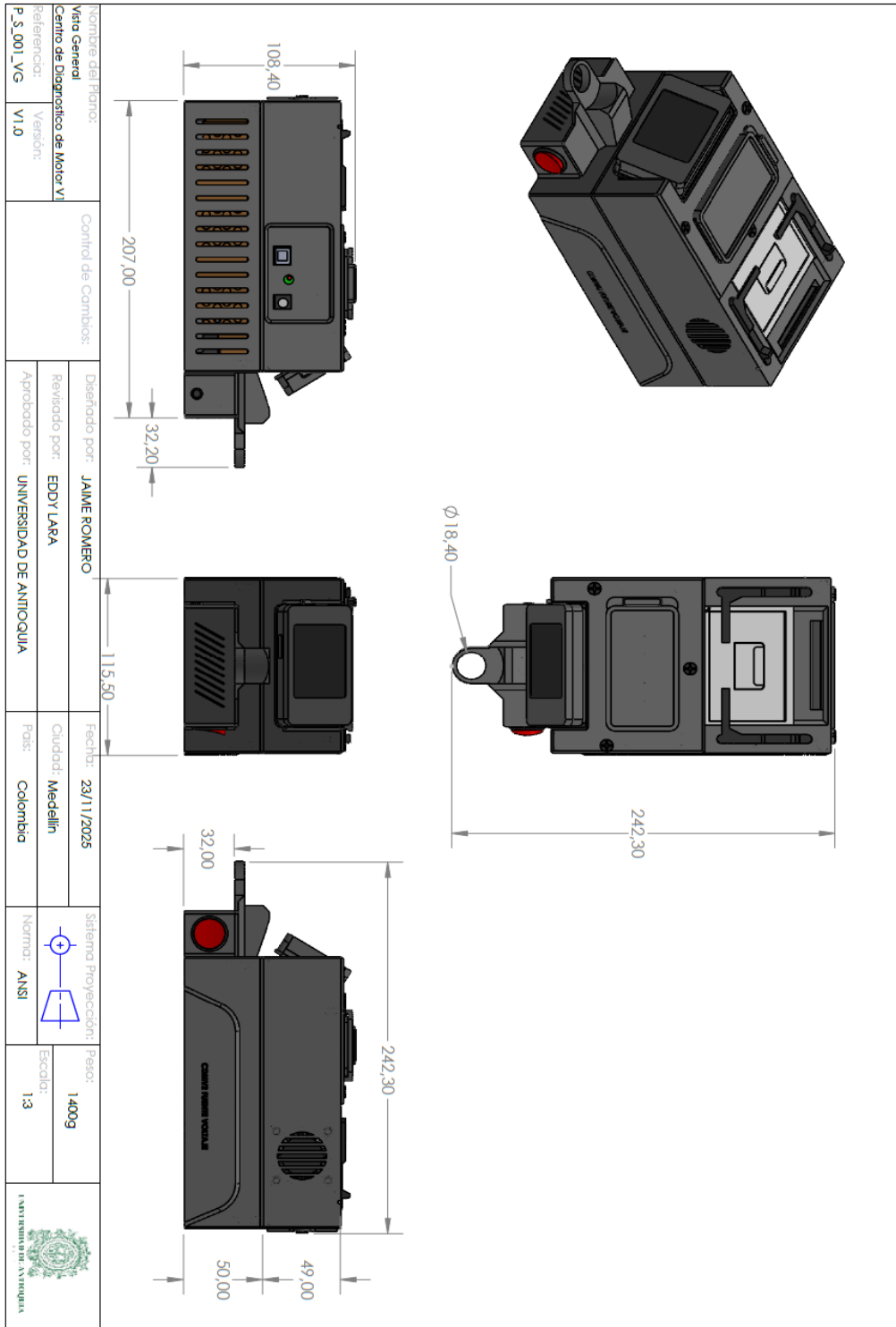




Figura 2. Subensambles

Item	Ref. Pieza	Nombre Pieza	Ct.
1	P_S_001_SC	Sistema Control CDM_V1	1
2	P_S_001_SF	Sistema Fuente CDM_V1	1
3	C_110V	Cable 110VAC 3X18AWG	1

Sistema Control CDM_V1
Ver plano Ref: P_S_001_SC

Sistema Fuente CDM_V1
Ver plano Ref: P_S_001_SF

Cable Comercial 3X18AWG
110VAC, Largo 1m
+ Adaptador Comercial 24VDC 2.1mmx5.5mm

Nombre del Plano: Subensambles Centro de Diagnóstico Motor VI Referencia: P_S_001	Versión: V1.0	Control de Cambios:	Diseñado por: JAIMÉ ROMERO Revisado por: EDDY LARA Aprobado por: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	Fecha: 29/11/2026 Ciudad: Medellín País: Colombia	Sistema Proyección:  Norma: ANSI	Pesta: Escala:	
---	------------------	---------------------	--	--	---	-------------------	---

6 Estudio de Factibilidad

El presente capítulo evalúa la viabilidad del proyecto desde tres dimensiones críticas: técnica, económica y operativa.

6.1. Factibilidad Técnica

La viabilidad técnica se sustenta en la capacidad del hardware seleccionado para capturar las variables dinámicas de los motores de 24VDC con la resolución suficiente para detectar anomalías. Basándose en la validación realizada por (Saucedo, 2018), se ha determinado que la resolución de 10 bits del convertidor Analógico-Digital (ADC) de la plataforma Arduino (incluso en versiones genéricas) es suficiente para este propósito, siempre que se garantice una etapa de alimentación estable.

6.1.1. Análisis de Requerimientos vs. Capacidades

Para la validación del diseño, se contrastaron las exigencias operativas de un motor estándar de bebidas calientes frente a las especificaciones técnicas del prototipo. El análisis evaluó variables críticas como corriente, potencia y voltaje, considerando tanto los valores máximos admisibles como la capacidad de procesamiento de datos del controlador Arduino. Esta comparación frente a los rangos de medición preestablecidos permitió determinar la aptitud del dispositivo para cumplir con la serie de pruebas requeridas.

Tabla 1. *Matriz de Cumplimiento Técnico*

VARIABLE	OPERACIÓN MOTOR	DISPOSITIVO MEDICION	VALIDACION
Tensión Nominal	24VDC (Rango de Operación 18-26V)	0-30VDC(Fuente Dual de voltaje)	CUMPLE
Corriente Nominal	0,5A-1,2A	0 - 5A(Sensor Hall ACS-724-50A)	CUMPLE
Potencia Nominal	9W-31,2W	50W	CUMPLE
Frecuencia de Muestreo	>200Hz	16MHz	CUMPLE
Corriente Máxima	3,5A	Hasta 5A	CUMPLE
Procesamiento	PWM	Arduino ATmega2560(16 MHz)	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Como se evidencia en la Tabla 1, el hardware seleccionado cubre holgadamente los rangos de operación, garantizando un margen de seguridad del 30% en la medición de corriente para evitar la saturación del sensor durante el pico de arranque.

Respecto a la adquisición de datos, se validó la capacidad de muestreo del microcontrolador frente a la velocidad angular del motor. Considerando una velocidad máxima de 12.000 RPM (equivalente a una frecuencia mecánica de 200 Hz), la velocidad de reloj del procesador (16 MHz) y su tasa de conversión analógica-digital son suficientes para reconstruir la señal con precisión. Esta validación técnica confirma la idoneidad del componente, respaldando su inclusión en la estructura de costos (BOM) y asegurando la viabilidad del retorno de la inversión.

6.2. Factibilidad Económica

Este análisis busca demostrar que el desarrollo del dispositivo es rentable frente a la actual cultura de sustitución de componentes ('usar y tirar'). Para lograr este objetivo, la estrategia de diseño se fundamentó en la selección rigurosa de componentes idóneos, dimensionados específicamente para las exigencias de la tarea de medición, evitando así el sobredimensionamiento tecnológico que inflaría el presupuesto innecesariamente.

Esta optimización de costos se alinea con criterios técnicos de alta fiabilidad y baja tasa de fallos, garantizando que la reducción en la inversión inicial no comprometa la vida útil del equipo. De esta manera, se configura un modelo de Retorno de Inversión (ROI) amplificado: al disminuir el costo de fabricación (CAPEX) y asegurar la durabilidad operativa del dispositivo, se acelera el punto de equilibrio y se maximiza la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

6.2.1. Costos de Prototipado (Bill of Materials - BOM)

A continuación, se detallan los costos estimados para la manufactura de una unidad funcional. Esta valoración económica se fundamenta en un análisis de precios de mercado vigentes en plataformas de comercio electrónico global (Amazon, AliExpress), regional (MercadoLibre) y distribuidores locales de componentes electrónicos.

Tabla 2. Estructura de Costos del Dispositivo (Estimado en COP)

Ítem	Componente	Costo Unitario (Aprox.)
1	Microcontrolador (Arduino Mega)	\$ 110.000
2	Módulo Sensor de Corriente	\$ 17.200
3	Módulo Sensor de Voltaje	\$ 15.500
4	Pantalla HMI 3,5"	\$ 293.600
5	Fuente de Voltaje 5-12-24VDC 5A	\$ 85.000
6	Impresora Térmica TTL (Panel)	\$ 156.000
7	Carcasa (Impresión 3D ABS)	\$ 315.000
8	Bloque Terminales Arduino mega	\$ 115.500
9	Cables, conectores y tornillería	\$ 42.000
10	Embalaje y Protección Logística	\$20.000
11	Mano de Obra Ensamble	\$120.000
12	Ingeniería y Desarrollo (NRE)	\$24.000
13	Costos Transporte Cobertura Nacional	\$45.000
TOTAL		\$ 1.358.000

Nota. Elaboración propia.

Es importante precisar que el valor asignado al ítem 7 consolida el costo total de los componentes fabricados mediante impresión 3D (FDM). Para visualizar el desglose detallado de estas partes, se debe consultar la lista de materiales (BOM) en los Anexos 9 y 10, filtrando por la columna 'Tipo de Pieza'.

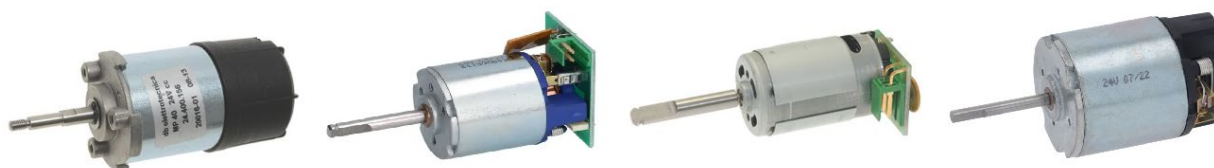
Por otro lado el costo unitario incluye un rubro de Ingeniería y Desarrollo (Ítem 11), calculado bajo el modelo de costos no recurrentes (NRE). Se contabilizaron un total de 80 horas hombre (35 horas de diseño mecánico CAD y 45 horas de programación de firmware), valoradas a una tarifa base de \$15.000 COP/hora. El costo total del desarrollo (\$1.200.00 COP) se ha amortizado proyectando un lote de producción inicial o "lote piloto" de 50 unidades, lo que resulta en una carga de \$24.000 COP por dispositivo. Esta estrategia permite recuperar la inversión intelectual sin encarecer desproporcionadamente el prototipo individual.

El rubro de ensamble (Ítem 9) no se limita a la integración mecánica, sino que exige un perfil técnico con competencias en electrónica para garantizar la fiabilidad del equipo. El proceso contempla la conexión del cableado estructurado, la soldadura de componentes críticos, la carga del firmware en el microcontrolador y, fundamentalmente, la fase de pruebas de calidad y calibración. Se ha estandarizado un tiempo de ejecución de 8 horas por unidad para cubrir este ciclo completo, valorando la hora técnica en \$15.000 COP. Esto asegura que cada dispositivo entregado sea funcional y cumpla con los estándares metrológicos definidos, resultando en un costo de mano de obra directa de \$120.000 COP por equipo.

6.2.2. Análisis Costo-Beneficio y Punto de Equilibrio

En este apartado, se pretenderá comparar los costos de desarrollo de la máquina de diagnóstico frente a el ahorro proyectado de reparar (y no tirar) motores con vida útil diagnosticados. Para el análisis se seleccionaron cuatro referencias de motores compatibles, homólogos en estructura funcional y rango de precios.

Figura 3. Tipos de Motores para análisis en este proyecto.



A continuación, se presenta el valor comercial de cada unidad, contrastándolo con una estimación de los costos de reparación y la mano de obra calculada según el tiempo de ejecución.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Comparativo de Motores, costo de reparación, mano de obra y Porcentaje de Ahorro.

REFERENCIAS	COSTO REAL MOTOR	Costo Materiales	Tiempo Rep.(Min)	Costo mano de obra	Costo Total Reparación	% Ahorro
MOTOR REF 1	\$ 128.452	\$ 30.308	30	\$ 3.868,21	\$ 34.176,60	73%
MOTOR REF 2	\$ 195.845	\$ 36.308	32	\$ 4.126,09	\$ 40.434,48	79%
MOTOR REF 3	\$ 254.876	\$ 38.308	35	\$ 4.512,91	\$ 42.821,30	83%
MOTOR REF 4	\$ 354.801	\$ 44.908	40	\$ 5.157,61	\$ 50.066,00	86%

Nota. Elaboración propia.

Para identificar y cuantificar cuales serían los materiales o elementos necesarios para la reparación, teniendo en cuenta elementos consumibles, refacciones según el modelo del motor y la referencia comercial de los componentes que lo integran, se destina la siguiente información:

Tabla 4. Comparativo de insumos y Materiales para la reparación de las 4 Referencias

Insumo	Costo M1	Costo M2	Costo M3	Costo M4
Lija 300	\$ 38	\$ 38	\$ 38	\$ 38
Paño limpieza	\$ 71	\$ 71	\$ 71	\$ 71
Lubricante (1ml)	\$ 10	\$ 10	\$ 10	\$ 10
Rodamientos	\$ 6.200	\$ 7.500	\$ 8.500	\$ 8.600
Bujes Centrales	\$ 15.000	\$ 18.000	\$ 19.000	\$ 22.500
Escobillas	\$ 7.800	\$ 9.500	\$ 9.500	\$ 12.500
Varsol+tiner(10ml)	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50
Etiqueta Adhesiva	\$ 640	\$ 640	\$ 640	\$ 640
Guantes	\$ 500	\$ 500	\$ 500	\$ 500
COSTO TOTAL	\$ 30.308	\$ 36.308	\$ 38.308	\$ 44.908

Nota. Elaboración propia.

Figura 4. Bujes, Escobillas, rodamientos utilizados para la reparación.



Es fundamental establecer que la sustitución de componentes, sin un respaldo metrológico, no garantiza la operatividad del motor. Por ello, se propone un esquema de validación de doble instancia:

Diagnóstico Preliminar: Al recibir un motor clasificado como 'fallido', se realiza una medición inicial para identificar sus parámetros basales. Esto actúa como un primer filtro para determinar si la falla es corregible o si el activo debe ser descartado antes de invertir en repuestos.

Control de Calidad Post-Reparación: Tras la intervención (cambio de escobillas, rodamientos, etc.), se ejecuta una segunda medición para certificar el éxito de la reparación. Si los valores no se ajustan al rango nominal, se procede a realizar acciones correctivas de ajuste fino (lubricación, alineación) hasta obtener las métricas que acrediten su reingreso seguro a la operación.

Conclusión Financiera: Partiendo de los datos expuestos en la introducción, que estiman un parque instalado de 15.000 máquinas y un universo de 90.000 motores DC en operación aproximado en Colombia, se evidencia la magnitud del activo que se pretende gestionar. Al analizar una muestra representativa de las cuatro referencias seleccionadas, se establece un costo promedio de reposición por motor de \$233.494 COP. Si trasladamos este escenario a un operador pequeño con una flota de 10 máquinas (equivalente a 60 motores instalados), el valor de su inventario en campo asciende a aproximadamente \$14.000.000 COP. En un escenario crítico de sustitución total correctiva, esta sería la inversión requerida para mantener la operatividad.

Al implementar el triaje técnico para determinar el alcance de la reparación, el escenario financiero se transforma radicalmente. Apoyándose en la estadística de fallas (LLORENTE, 2022), se estima que 8 de cada 10 motores presentan defectos recuperables mediante intervenciones menores (cambio de escobillas, bujes o rodamientos). Aplicando esta tasa de recuperabilidad del 80% a la flota ejemplo de 60 motores, se obtiene un universo de 48 unidades aptas para reparación.

Según los costos detallados en la Tabla 4, la recuperación unitaria promedia los \$37.458 COP. Esto implica una inversión total de \$1.797.984 COP para rehabilitar el lote de 48 motores, cifra que representa apenas el 12.8% del costo que supondría adquirir esa misma cantidad de activos nuevos.

Al contrastar este ahorro con el costo de fabricación del dispositivo (\$1.358.800 COP, según Tabla 2), se evidencia que la inversión en el equipo se amortiza completamente con la recuperación exitosa de tan solo 5 o 6 motores. Este indicador confirma una alta rentabilidad y valida un modelo de economía circular que no solo optimiza el capital de trabajo, sino que mitiga el impacto ambiental, protege la electrónica de los dispensadores y asegura la continuidad del servicio al usuario final.

Tomando como referencia las especificaciones técnicas de actuadores homólogos, se estima una vida útil nominal de 12.000 ciclos de uso (maxongroup, 2025). Al aplicar el margen de tolerancia del 10% definido en este estudio, se establece un umbral operativo de seguridad. Este criterio valida la viabilidad técnica de la recuperación y habilita un ciclo de remanufactura recurrente, permitiendo que el mismo activo sea intervenido y reintegrado a la operación múltiples veces, limitado únicamente por la fatiga material de sus componentes estructurales no reemplazables.

Extrapolando el análisis al contexto macro, y partiendo de un universo de 90.000 motores a nivel nacional, se debe ajustar la cifra considerando la rotación de inventario y equipos en bodega. Según las estimaciones de crecimiento y operatividad del sector (Garzón, 2008), se calcula una base instalada activa del 70%, lo que resulta en 63.000 actuadores operando de manera continua.

Desde la perspectiva de la carga de trabajo, reportes sectoriales señalan que el umbral de rentabilidad mínima para una máquina vending se sitúa en 20 expendios diarios (Hostel Vending, 2024). Esto somete a cada motor a un régimen de desgaste aproximado de 600 ciclos mensuales, acumulando 7.200 ciclos anuales. Bajo estas condiciones, se proyecta una tasa de descarte susceptible del 60%, lo que implica el retiro de 37.800 unidades al año.

El impacto en términos ambientales, considerando un peso promedio de 250g por unidad, el sector genera anualmente cerca de 9.45 toneladas de residuos electrónicos (RAEE) evitables. En términos financieros, esto equivale a la destrucción de capital por más de \$8.000 millones de pesos (COP); una inversión que, mediante la implementación del dispositivo de diagnóstico, podría ser recuperada y reintegrada a la operación nominal, transformando un gasto neto en activo funcional.

6.3. Factibilidad Legal y Ambiental

El proyecto se alinea con la Ley 1672 de 2013 (Ley RAEE en Colombia), la cual establece directrices para la gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Al extender la vida útil de los motores mediante un diagnóstico certero y mantenimiento preventivo (limpieza/lubricación y cambio de piezas comerciales del motor) en lugar del desecho inmediato, la empresa operadora reduce su huella de carbono y cumple con las normativas de responsabilidad extendida del productor/usuario, evitando sanciones y mejorando su perfil de sostenibilidad corporativa.

7 Conclusiones

La implementación de hardware de código abierto (Open Source Hardware), específicamente la plataforma Arduino y sensores de bajo costo, cumple satisfactoriamente con los requerimientos de medición para el diagnóstico de motores de 24 VDC. Basado en la evidencia del estado del arte y las pruebas de factibilidad, la resolución de 10 bits del sistema, sumada a la técnica de análisis de firma de corriente (MCSA), permite identificar anomalías mecánicas (fricción, desgaste) sin necesidad de recurrir a costosa instrumentación industrial, validando la hipótesis de que es posible democratizar la tecnología de diagnóstico de alta precisión.

El análisis financiero es concluyente: la transición de un modelo de sustitución correctiva ("usar y tirar") a uno de recuperación de activos es altamente rentable. Con un costo de reparación que representa apenas el 12.8% del valor de un motor nuevo, y un punto de equilibrio que se alcanza con la recuperación de tan solo 6 unidades, el dispositivo no solo se autofinancia en el corto plazo, sino que genera un ahorro sostenido que impacta directamente en el estado de resultados de la operación vending.

El proyecto se alinea estratégicamente con los principios de la Economía Circular y la normativa vigente sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Al extender la vida útil de los motores mediante intervenciones preventivas y limpiezas focalizadas, se evita el desecho prematuro de componentes funcionales, reduciendo significativamente la huella de carbono de la operación y posicionando a la empresa operadora bajo estándares de responsabilidad ambiental corporativa.

Más allá del prototipo físico, este trabajo establece un precedente para la profesionalización del servicio técnico en el sector vending. La definición de rangos de operación seguros (corriente, voltaje, potencia) y la documentación automática de los hallazgos crean un estándar técnico unificado. Esto permite que el conocimiento deje de ser exclusivo de la experiencia del técnico y se convierta en un activo sistematizado de la organización, garantizando la calidad y consistencia del producto final entregado al usuario.

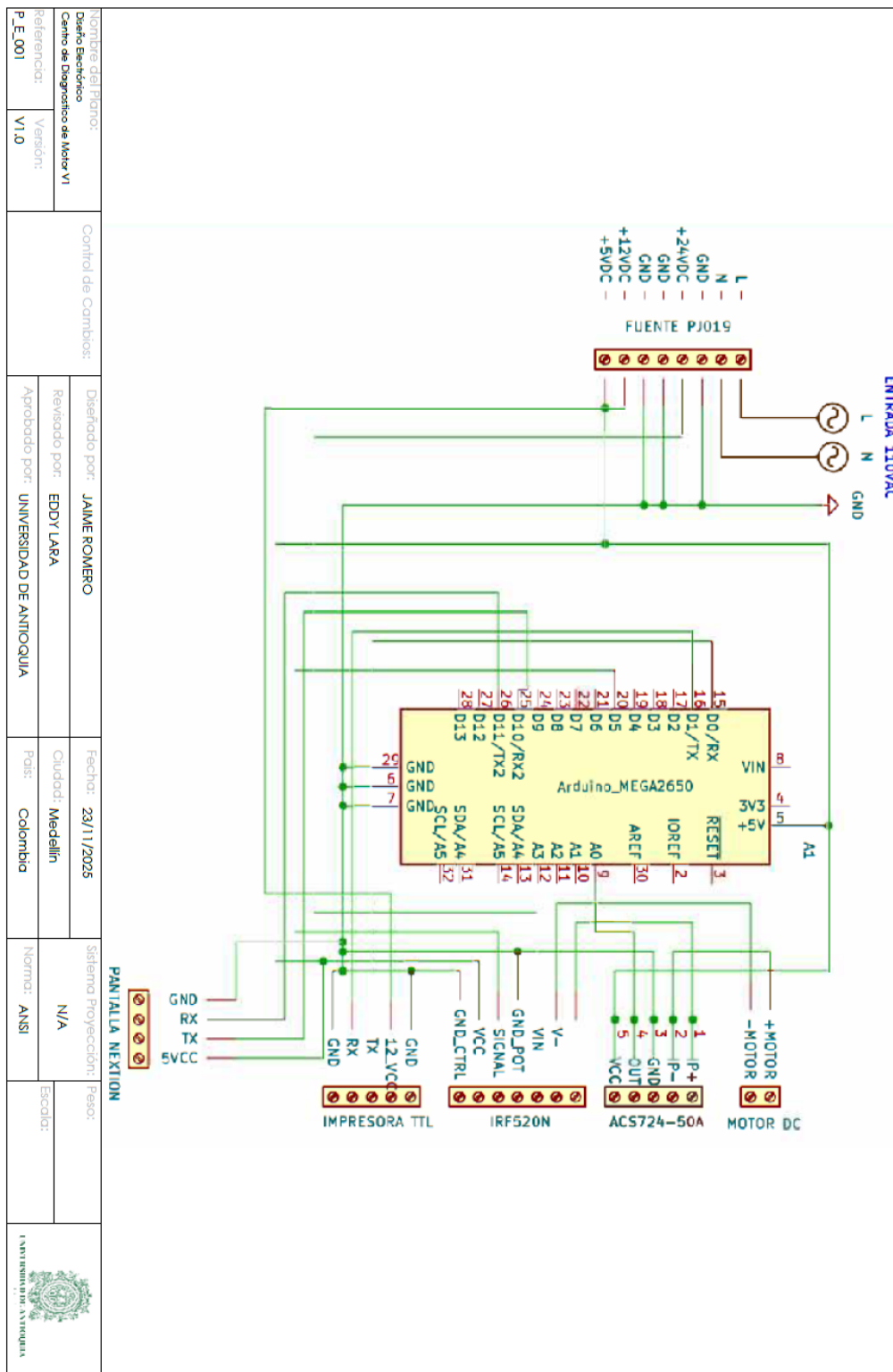
8 Referencias Bibliográficas

- AutoSnack. (s. f.). *Innovación y bienestar*. <https://www.autosnack.com.co/nosotros/>
- Azkoyen Andina. (2014). *Azkoyen abre una planta en Colombia para dar servicio a América Latina*. <https://azkoyenandina.com/noticias/azkoyen-abre-una-planta-en-colombia-para-dar-servicio-a-america-latina/>
- Central del Vending. (s. f.). *Repuestos vending*. <https://centraldelvending.com/?srsltid=AfmBOoqdbkzmxiv8Sxy2UuYbS9XiuPy1k1CpoMhMAYDYtSSIsHpibcQv>
- Diario Occidente. (2025). *El mercado de vending en Colombia crece un 30% anual*. <https://occidente.co/empresario/el-mercado-de-vending-en-colombia-crece-un-30-anual/>
- Evoca Group. (s. f.). *Barista 1000*. <https://necta.evocagroup.com/es/productos/coffee-vending-machines/barista-1000>
- Garzón, R. A. F. (2008). *[Documento en repositorio institucional]*. Biblioteca Digital Universidad de San Buenaventura. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/43285.pdf>
- Girman, M., Keusch, P., & Kmec, P. (2009). Faults, failures and availability in self-service technology. *Management Services*, 53(4), 44–47. <http://ezproxy.lib.ucalgary.ca:2048/login?url=http://search.ebscohost.com.ezproxy.lib.ucalgary.ca/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=47726127&site=ehost-live>
- Higuchi, Y. (2007). History of the development of beverage vending machine technology in Japan. *Survey Reports on the Systemization of Technologies*, 7, 1–69.
- Hostel Vending. (s. f.). *Hostel Vending*. <http://www.hostelvending.com>
- Kim, S., & Yoo, S. (2012). The combined manpower planning and preventive maintenance strategies by aggregate planning for the service division of vending machines. *Journal of the Operational Research Society*, 63(8), 1034–1050. <https://doi.org/10.1057/jors.2011.98>
- Linkitsoft. (2023). *Vending machine maintenance: Common issues and how to fix them*. <https://linkitsoft.com/best-vending-machine-maintenance-services/>
- Llorrente, I. V. (2022). *[Trabajo en repositorio institucional]*. UVaDOC. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/53817>
- Manzini, R., Accorsi, R., Cennerazzo, T., Ferrari, E., & Maranesi, F. (2015). The scheduling of maintenance: A resource-constraints mixed integer linear programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.06.006>

- Maxon. (s. f.). *Aviation*. <https://www.maxongroup.com/en-us/market-solutions/aerospace/aviation>
- Mundo Vending. (s. f.). *Mundo Vending*. <https://www.mundovending.com.co/>
- Novaventa. (s. f.). *Quiénes somos*. <https://novaventa.com/quienes-somos>
- Occidente. (2025). *UAO. Repositorio UTC*. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/f1c2f6a5-b38e-4342-9084-5d9d842f39f5>
- Osborne, J. (2017). Internet of things and cloud computing. En *Internet of Things and data analytics handbook* (pp. 683–698). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119173601.ch42>
- Paravyan, Y. L., & Ambaryan, A. S. (1991). Asynchronous single-phase motor with DAOR60 type built-in reductor. *Elektrotehnika*, 4.
- Saucedo. (2018). *Pistas Educativas*. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1179/943>
- Schreiber, G. R. (2009). *A concise history of vending in the U.S.A.* https://www.google.com/books/edition/Automatic_Selling/j3ZEAAAIAAJ?hl=es&bpv=1&bsq=inauthor:%22G.+R.+Schreiber%22&dq=inauthor:%22G.+R.+Schreiber%22&printsec=frontcover
- Segrave, K. (2015). *Vending machines: An American social history*. McFarland. https://books.google.com/books/about/Vending_Machines.html?id=iCSqgzfy38QC&redir_esc=y
- VendSoft. (2023). *How much does a vending machine cost?* <https://www.vendsoft.com/how-much-does-vending-machine-cost/>

9 Apéndices y anexos

Anexo 1. Plano Eléctrico




Anexo 2. Plano de subsistemas

Item	Ref. Pieza	Nombre Pieza	Ct.
1	P_S_001_SC	Sistema Control CDM_V1	1
2	P_S_001_SF	Sistema Fuente CDM_V1	1
3	C_110V	Cable 110VAC 3X18AWG	1



Sistema Control CDM_V1
Ver plano Ref: P_S_001_SC

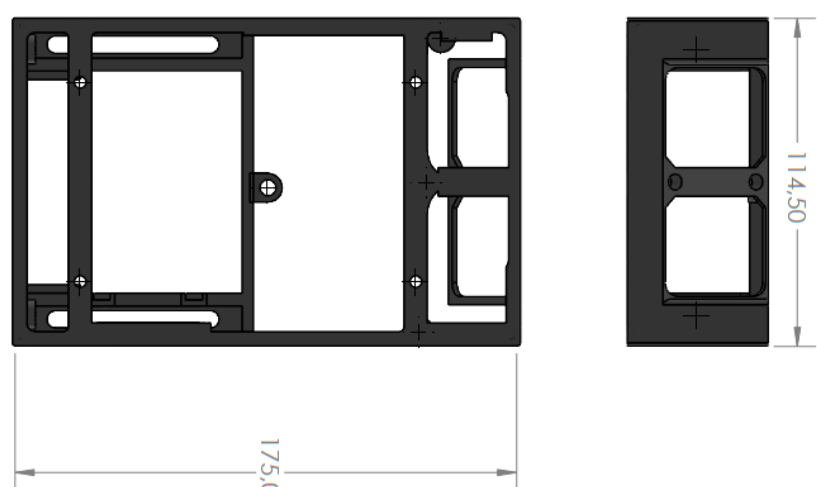
Sistema Fuente CDM_V1
Ver plano Ref: P_S_001_SF

Cable Comercial 3X18AWG
110VAC, Largo 1m
+ Adaptador Comercial 24VDC 2.1mmx5.5mm

Nombre del Plano: Subsistemas Centro de Diagnostico Motor V1	Control de Cambios:	Diseñado por: JAIMÉ ROMERO	Fecha: 23/11/2025	Sistema Proyección: + -	Peso:
Referencia: P_S_001	Version: V1.0	Revisado por: EDDY LARA	Ciudad: Medellín	Norma: ANSI	Escala:
		Aprobado por: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	País: Colombia		

Anexo 3. Caja de Control

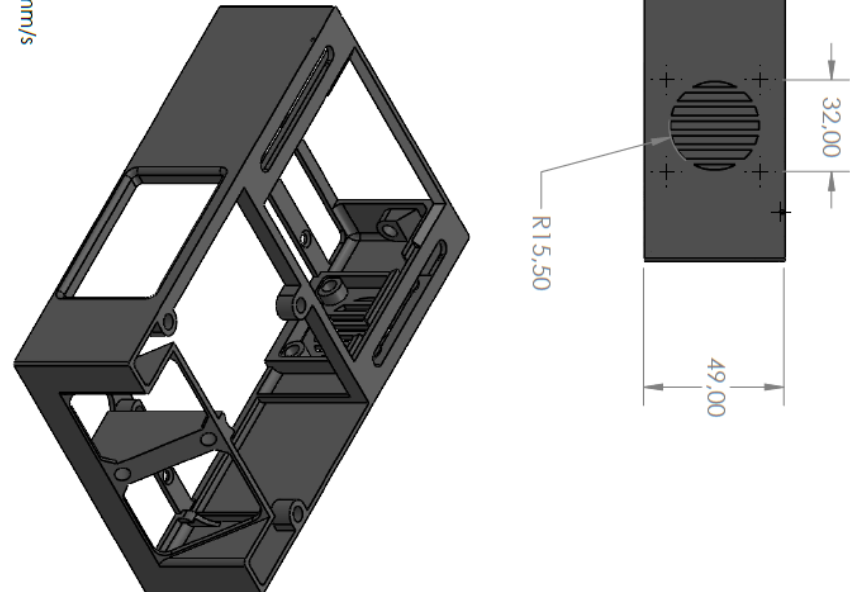
Nombre del plano: CAJA CONTROL	Control de Cambios:	Diseñado por: JAIIME ROMERO	Fecha: 23/11/2025	Sistema Proyección: 	Peso: 94.89g	
Referencia: CTRL_1		Versión: V1.0	Revisado por: EDDY LARA	Ciudad: Medellin	Escala: 1:2	
		Aprobado por: UNIVERSIDAD DE ANTOQUIA	País: Colombia	Norma: ANSI		



Top view dimensions: 114,50

Side view dimensions: 175,00

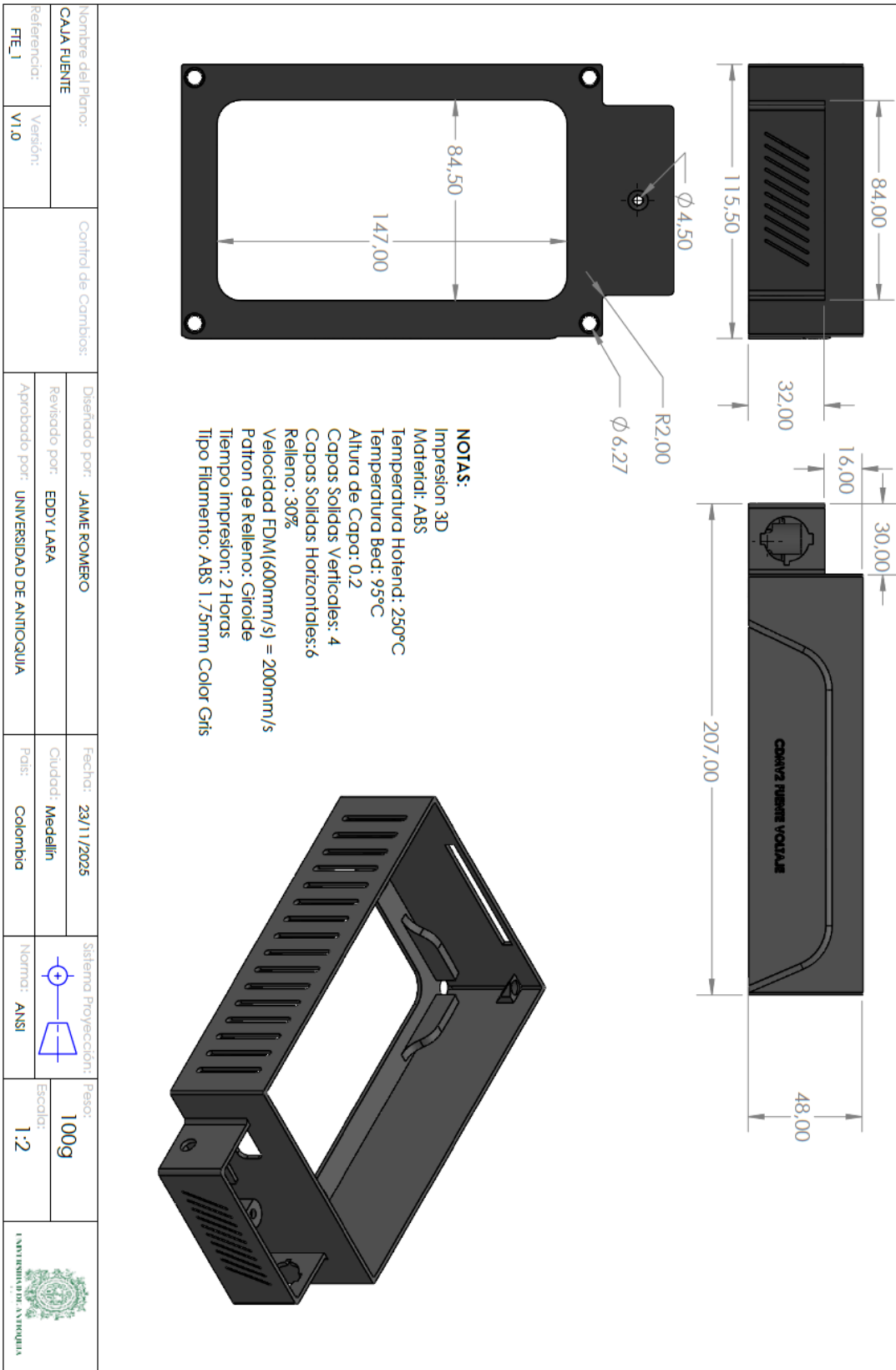
NOTAS:
 Impresión 3D
 Material: ABS
 Temperatura Hotend: 250°C
 Temperatura Bed: 95°C
 Altura de Capa: 0.2
 Capas Solidas Verticales: 4
 Capas Solidas Horizontales: 6
 Relleno: 30%
 Velocidad FDM(600mm/s) = 200mm/s
 Patron de Relleno: Giroide
 Tiempo Impresión: 2.5Horas
 Tipo Filamento: ABS 1.75mm Color Gris



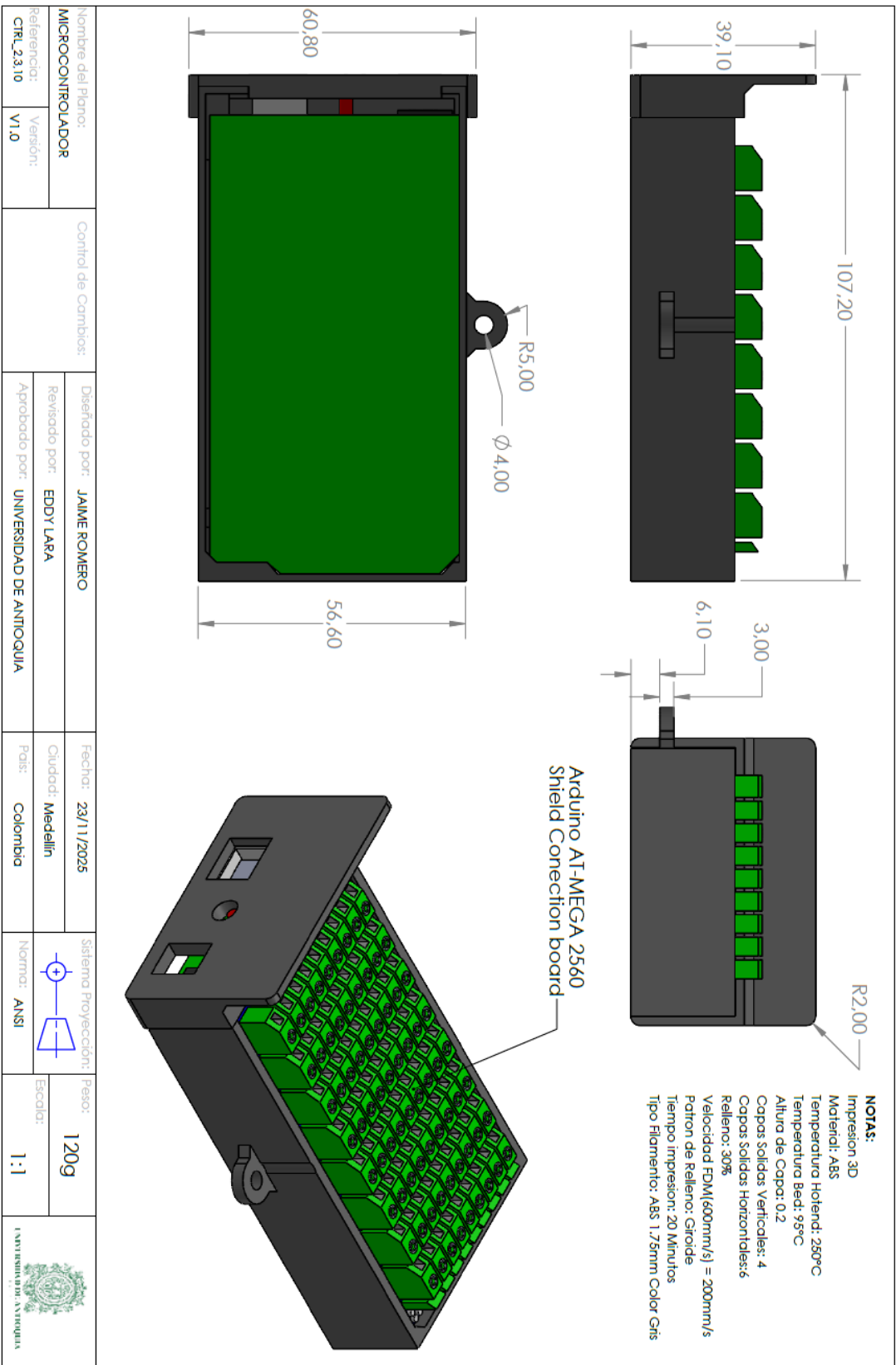
Front view dimensions: 32,00, 49,00

Radius: R15,50

Anexo 4. Caja Fuente



Anexo 5. Microcontrolador



Anexo 6. Pantalla HMI

NOTAS:

- Impresión 3D
- Material: ABS
- Temperatura Hotend: 250°C
- Temperatura Bed: 95°C
- Altura de Capa: 0.2
- Capas Solidas Verticales: 4
- Capas Solidas Horizontales: 6
- Relleno: 30%
- Velocidad FDM(600mm/s) = 200mm/s
- Patron de Relleno: Giroide
- Tiempo Impresion: 50 Minutos
- Tipo Filamento: ABS 1.75mm Color Gris

PANTALLA NEXTION
NX1060P101-011R
1024X600
TOUCH

47,00

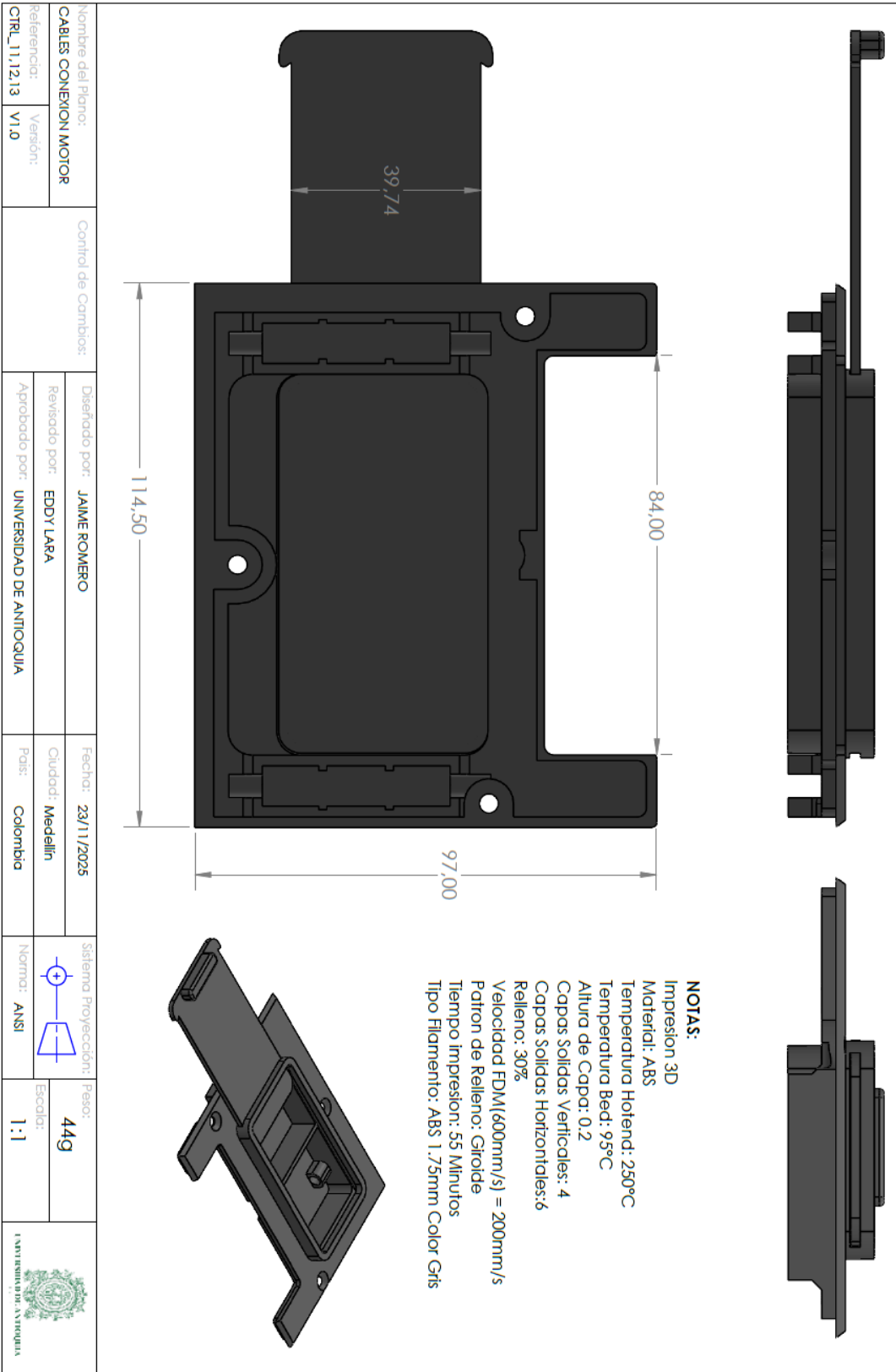
14,80

78,80

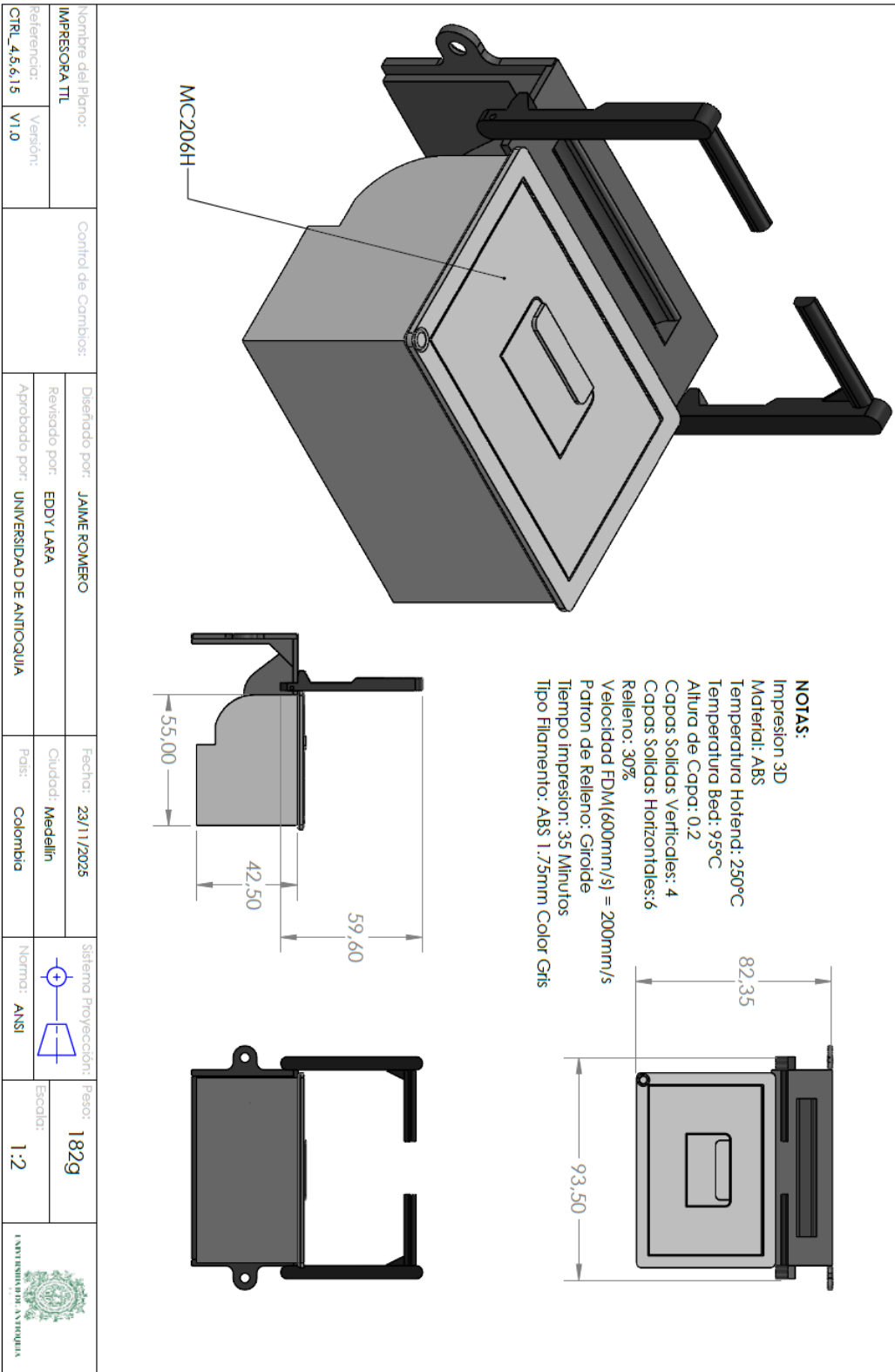
Nombre del Plano:	PANTALLA NEXTION			Control de Cambios:				Diseñado por:	JAMIE ROMERO			Fecha:	23/11/2025		Sistema Proyección:	Peso:	55 g			
Referencia:	V1.0							Revisado por:	EDDY LARA			Ciudad:	Medellin		Norma:	ANSI		Escala:	1:1	
CTRL:	7.89							Aprobado por:	UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA			País:	Colombia							

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Anexo 7. Conexiones Motor



Anexo 8. Impresora TTL



Anexo 9. Plano de BOM Sistema de Control


BOM SISTEMA CONTROL

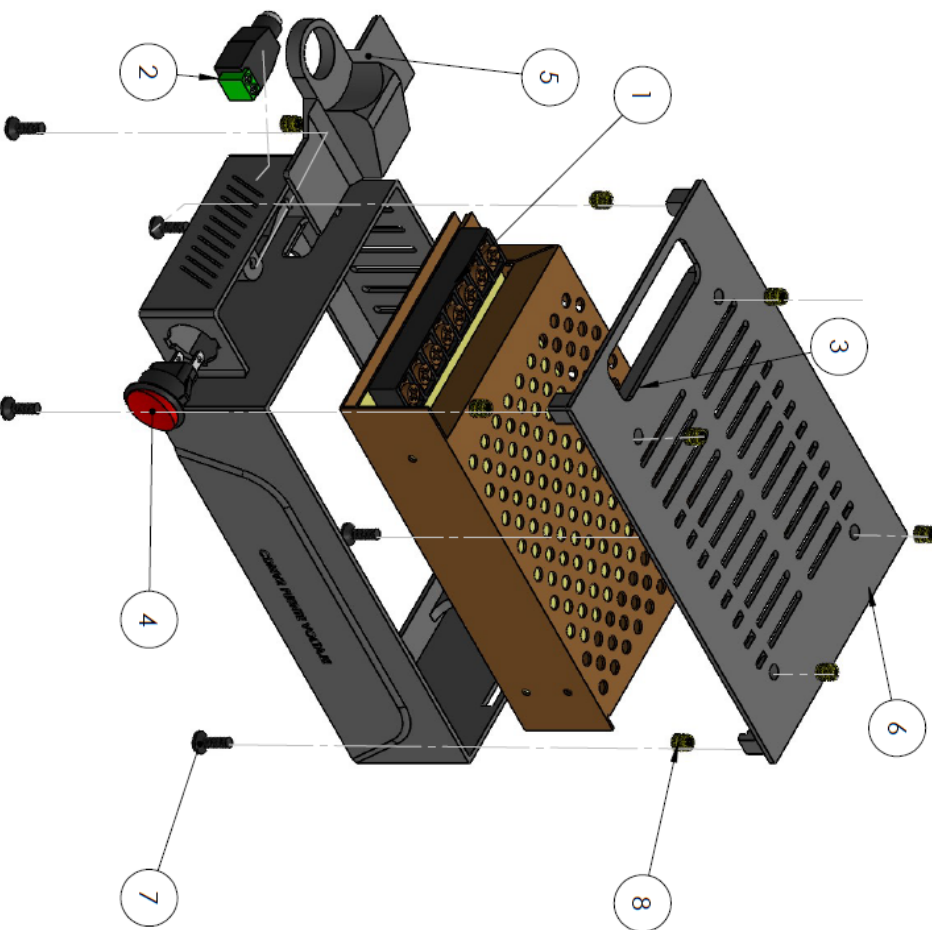
ITEM	Ref. Pieza	Nombre Pieza	TIPO HEIZA	Material	Color	CT
1	CTRL_1	CAJA_CTRL	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
2	CTRL_2	CAJA_PLIC_1_2	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
3	CTRL_3	CAJA_PLIC_2_2	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
4	CTRL_4	IMPRESORATTL	Comercial, Ref:MAC06H	Varios	Blanco	1
5	CTRL_5	GUIA_PAPEL_IMPRESORA	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
6	CTRL_6	SOPORTE_PAPEL_IDQ	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
7	CTRL_7	PANTALLA_HMI	Comercial, Ref: NEXTON NX3224F024	Varios	Varios	1
8	CTRL_8	SOPORTE_PANTALLA_BAJO	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
9	CTRL_9	SOPORTE_PANTALLA_ARRIBA	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
10	CTRL_10	MICROCONTROLADOR	Comercial, Ref:Arduino Mega2560	Varios	Varios	1
11	CTRL_11	TAPA_BASE_COMP_CABLES	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
12	CTRL_12	BASE_COMP_CABLES	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
13	CTRL_13	TAPA_DESILIZANTE_CABLES	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
14	CTRL_14	VENTILADOR	Comercial, Ref: 40100C24V40A40A10mm	Varios	Negro	1
15	CTRL_15	SOPORTE_PAPEL_DER	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
16	T_AV_4X8	TORN_AVELL_4X8	Comercial, Ref:Tornillo Avellanado MAX8	Acero	Negro	16
17	T_INS_4X6	TUERCA INSERCCION	Comercial, Ref: Tuercas Inserccion MAX6X6	Laton	Cobre	12
18	CTRL_18	PN_1X5	Comercial, Ref: Pin 1x5mm	Acero	Negro	2
19	CTRL_19	CAJAMANEGRO	Comercial, Ref:Punta Calman Meta G98	Varios	Negro	1
20	CTRL_20	CAJAMANROJO	Comercial, Ref:Punta Calman Meta G98	Varios	Rojo	1
21	CTRL_21	CONECTOR_NEGATIVO	Comercial, Ref:BOC3LBWSTZ	Varios	Negro	1
22	CTRL_22	CONECTOR_POSITIVO	Comercial, Ref:BOC3LBWSTZ	Varios	Negro	1

**FDM = Fused Deposition Modeling = Impresion 3D

Nombre del Plano: Sistema Control CDM_V1		Control de Cambios: Diseñado por: JAMIE ROMERO		Fecha: 23/11/2025	
Referencia: P_S_001_SC	Version: V1.0	Revisado por: EDDY LARA	Ciudad: Medellin		Peso: 650g
		Aprobado por: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	País: Colombia		Escala: 1:3

Anexo 10. Plano de BOM Sistema de Fuente

Nombre del Plano:		Control de Cambios:		Diseño por:		Fecha:		Sistema Proyección:		Peso:	
Sistema Fuente CDM_VI				JAMIE ROMERO		23/11/2025				750 g	
Referencia:		Revisado por:		Ciudad:		Escala:					
P_5_001_SF		EDDY LARA		Medellin		1:2					
Version:		Aprobado por:		País:							
VI.0		UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA		Colombia							



BOM SISTEMA FUENTE

ITEM	Ref. Pieza	Nombre Pieza	TIPO PIEZA	Material	Color	CT
1	FTE_1	CAJA_FUENTE	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
2	FTE_2	CONEXION_FUENTE	Comercial, Ref: Adaptador 24VDC 2,1mmx5,5mm	Varios	Varios	1
3	FTE_3	FUENTE	Comercial, Ref: P1019	Varios	Varios	1
4	FTE_4	SW ON OFF	Comercial, Ref: INT/HVKIL	Varios	Varios	1
5	FTE_5	TAPA 2_FUENTE	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
6	FTE_6	TAPA_1_FUENTE	Fabricacion FDM	ABS	Gris	1
7	T_AV_4X8	TORN.AVELL_4X8	Comercial, Ref:Tornillo Avellanado M4X8	Acero	Negro	5
8	T_INS_4X6	TUERCA INSERCCION	Comercial, Ref:Tuerca Inserccion MAXX6	Latón	Cobre	9

Anexo 11. Visualización del producto terminado

